سلسلة كتب سباكة المعادن

أفران الكيوبلا (الدست)

تصميمها وتشغيلها والتحكم فيها

ترجمة

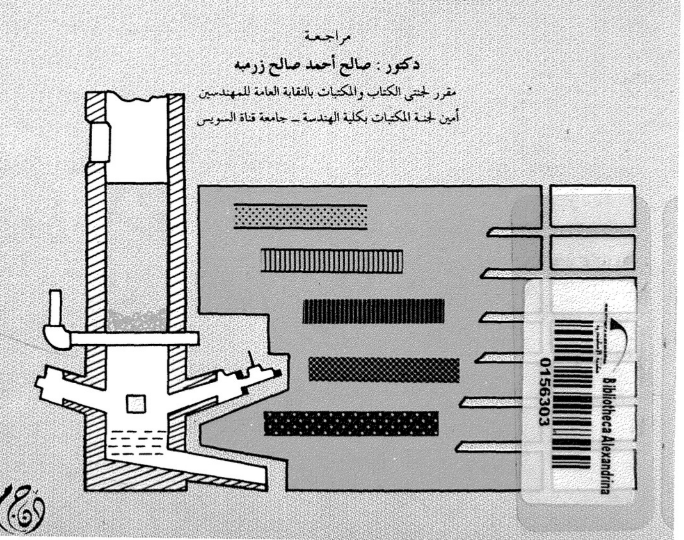
المهندس : سيد على حسان وافى

مراجعة

دكتور : صالح أحمد صالح زرمبه

مقرر لجنتى الكتاب والمكتبات بالنقابة العامة للمهندسين

أمين لجنة المكتبات بكلية الهندسة ـ جامعة قناة السويس



Bibliotheca Alexandrina
0156303

اهداءات ١٩٩٨

مؤسسة الاهرام للنشر والتوزيع

القاهرة

سلسلة كتب سباكة المعادن

أفران الكيوبلا (الدست)

تصميمها وتشغيلها والتحكم فيها

المهندس : سيد على حسان وافى

مراجعة

دكتور : صالح أحمد صالح زرمبه

مقرر لجنتى الكتاب والمكتبات بالنقابة العامة للمهندسين

أمين لجنة المكتبات بكلية الهندسة - جامعة قناة السويس

كافة حقوق الطبع محفوظة
الطبعة الأولى
١٤١٥هـ - ١٩٩٤م

دار النشر للجامعات المصرية - مكتبة الوفاء
٤١ ش شريف ت ٢٩٣١٢٣٤/ ٢٩٣٤٦٠٦ ، فاكس ٢٩٢١٩٩٧

محتويات الكتاب

مقدمـــة

ترجع أهمية عملية تشغيل أفران الدست بطريقة فعالة واقتصادية إلى هدفين هما :

أولاً : إنتاج مسبوكات ذات جودة عالية .

ثانياً : تحقيق عائد إقتصادى للمسبك .

وفى هذا الكتاب وضعت عدة اعتبارات لإدخال عدة تحسينات على طرق التشغيل المستعملة حالياً إلى جانب إضافة عدة تعديلات وتطوير طرق تصميم أفران الكيوبلا المستعملة وتشغيلها بناء على الأبحاث الميدانية التى أجريت فى بكيرا BCIRA .

وصفحات هذا الكتاب تحتوى على مراجعة شاملة لكل ما يخص أفران الدست من ناحية التصميم والتشغيل والعوامل المؤثرة على التشغيل وكيفية توجيه وضبط هذه العوامل إلى جانب طريقة اختيار الخامات المستعملة فى عملية الصهر وكيفية الإشراف عليها بالإضافة إلى المعدات والأجهزة المستخدمة داخل المسبك وطرق مناولة الخامات وتخطيط موقع مخزن الخامات (حوش التخزين) . كما تم توجيه العناية للمتطلبات الحالية والمحتملة مستقبلا ، والتى تخضع للتشريعات الخاصة بالمحافظة على البيئة ، فيما يخص من نواتج أفران الدست من عوادم الغازات والأتربة التى تطلقها فى الجو .

إن عملية إعادة النظر فيما يخص أفران الدست ، من عمليات تصميم وتشغيل وطرق التطوير لم ينصب على الأفران من الناحية الفنية والهندسية فقط ، وإنما شمل أيضاً النواحى الاقتصادية .

الباب الأول
أساسيات تصميم أفران الدست
Basic Design Principles

تعد عملية تصميم فرن الدست من أهم العمليات التى تتحمل عبء تشغيل الفرن بطريقة إقتصادية وفعالة ، وسوف نناقش هنا أهم عناصر التصميم والتى تؤثر على كفاءة أداء الفرن .

المعدلات المثالية لتدفق الهواء كأساس لتصميم الفرن
Optimum Blast Rate

إن عملية الصهر بالفرن تجرى فى ظروف أكثر كفاءة واقتصادية عندما تتم عند معدل معين وثابت لتدفق الهواء ، والشكل رقم (١) يوضح العلاقة بين تدفق الهواء ودرجة حرارة مصهور المعدن ، عند استخدام نسبة ثابتة لفحم الكوك فى شحنة الفرن ، وهذا الشكل يوضح أن درجة حرارة المعدن تزداد كلما زاد معدل الهواء حتى تصل إلى أقصى قيمة ، بعد ذلك تبدأ درجة الحرارة تنخفض مرة أخرى مع زيادة معدل الهواء ، بمعنى أن زيادة معدل الهواء بعد ذلك يؤدى إلى خفض درجة حرارة المعدن مرة أخرى .

شكل رقم (١) العلاقة بين معدل تدفق الهواء وبين درجة حرارة المعدن المصهور .

ومن الناحية العملية فإن المعدلات المثالية لتدفق الهواء تختلف تبعاً لنسبة فحم الكوك فى الشحنة وأيضاً تبعاً للخامات الموجودة فى داخل فرن الصهر . وعلى أية حال فقد وجد عملياً وبالتجارب اتضح أن المعدل المثالى لتدفق الهواء حوالى ١١٥ متر مكعب كل دقيقة لكل متر مربع من مساحة مقطع فرن الدست عند منطقة الودنات (وهو مايعادل حوالى ٢٧٥ قدم

جدول رقم (١) البيانات التصميمية لأفران الدست .

١			٢	٣	٤	٥		٦	٧	٨	٩
معدل الصهر عند استخدام كوك بنسب مختلفة وظروف تشغيل مستقرة طن / ساعة			معدلات الهواء الموصى بها متر^٣/دقيقة عند ١٥°م وضغط ١٠١ كيلو باوند على وحدة المساحة	مساحة مقطع منطقة الصهر م^٢	قطر منطقة الصهر سم	قدرة مروحة الهواء الموصى بها		السعة التقريبية لخزنة المعدن كجم/سم أرتفاع	المساحة الإجمالية للودنات سم^٢	عدد الودنات	الوزن التقريبى للفرشة كجم / سم أرتفاع
نسبة الكوك : المعدن						الضغط كيلو باوند على وحدة المساحة	الحجم م^٣/دقيقة				
١٠:١	٨:١	٦:١									
١,٦	١,٣	١,١	١٨,٨	٠,١٦٤	٤٦	١٠,٠	٢٢,٧	٦,٠	٢٢٥ - ٤٢٠	٤	٠,٧
٢,٢	١,٩	١,٥	٢٥,٥	٠,٢٢٣	٥٣	١٠,٢	٣٠,٦	٨,٠	٣٢٥ - ٥٥٠	٤	١,٠
٢,٩	٢,٥	١,٩	٣٣,٤	٠,٢٩٢	٦١	١٠,٥	٤٠,٢	١٠,٥	٤٢٠ - ٧٤٠	٤	١,٣
٣,٧	٣,١	٢,٥	٤٢,٣	٠,٣٧٠	٦٩	١٠,٧	٥١,٠	١٣,٣	٥١٥ - ٩٣٥	٤	١,٧
٤,٥	٣,٩	٣,١	٥٢,١	٠,٤٥٦	٧٦	١١,٠	٦٢,٣	١٦,٣	٦٤٥ - ١١٣٠	٤	٢,٠
٥,٥	٤,٧	٣,٧	٦٣,٢	٠,٥٥٢	٨٤	١١,٢	٧٥,٩	١٩,٨	٧٧٥ - ١٣٩٠	٦	٢,٥
٦,٦	٥,٦	٤,٤	٧٥,٠	٠,٦٥٧	٩١	١١,٥	٩٠,٠	٢٣,٣	٩٣٥ - ١٦٤٥	٦	٢,٩
٧,٧	٦,٥	٥,٢	٨٨,١	٠,٧٧١	٩٩	١١,٧	١٠٦,٠	٢٧,٥	١١٠٠ - ١٩٣٥	٦	٣,٥
٩,٠	٧,٦	٦,١	١٠٢,٥	٠,٨٩٦	١٠٧	١٢,٠	١٢٣	٣١,٧	١٢٩٠ - ٢٢٢٥	٦	٤,٠
١٠,٣	٨,٧	٦,٩	١١٧,٢	١,٠٢٦	١١٤	١٢,٢	١٤١	٣٦,٧	١٤٥٠ - ٢٥٠٠	٨	٤,٦
١١,٧	١٠,٠	٧,٩	١٣٣,٧	١,١٦٨	١٢٢	١٢,٧	١٦٠	٤١,٧	١٦٨٠ - ٢٩٠٠	٨	٥,٢
١٣,٢	١١,٢	٨,٩	١٥٠,٠	١,٣١٨	١٣٠	١٣,٠	١٨٠	٤٦,٧	١٨٧٠ - ٣٢٩٠	٨	٥,٩
١٤,٨	١٢,٦	١٠,٠	١٦٨,٥	١,٤٧٨	١٣٧	١٣,٢	٢٠٢	٥٣,٣	٢١٠٠ - ٣٦٨٠	٨	٦,٦
١٦,٥	١٤,٠	١١,٢	١٨٨,٣	١,٦٤٦	١٤٥	١٣,٧	٢٢٦	٥٨,٣	٢٣٥٠ - ٤١٠٠	٨	٧,٤
١٨,٣	١٥,٦	١٢,٤	٢٠٨,٤	١,٨٢٤	١٥٢	١٤,٢	٢٥١	٦٥,٠	٢٦١٠ - ٤٥٥٠	٨	٨,٢
٢٢,١	١٨,٨	١٤,٩	٢٥٢,٠	٢,٢٠٦	١٦٨	١٤,٩	٣٠٣	٧٨,٣	٢٨٧٠ - ٥٠٣٠	١٠	١٠,٠
٢٦,٥	٢٢,٥	١٧,٩	٣٠١,٦	٢,٦٢٦	١٨٣	١٥,٧	٣٦٠	٩٣,٣	٣٧٤٠ - ٦٥٨٠	١٠	١١,٨
٣١,١	٢٦,٤	٢١,٠	٣٥٤,٠	٣,٠٨٣	١٩٨	١٧,٢	٤٢٥	١١٠	٤٣٩٠ - ٧٧٤٠	١٠	١٣,٥
٣٦,١	٣٠,٦	٢٤,٣	٤١٠,٦	٣,٥٧٤	٢١٣	١٨,٧	٤٩٣	١٢٨	٤٥١٠ - ٩٠٣٠	١٠	١٦,٠

مكعب / دقيقة / قدم مربع) ويجب أن يؤخذ الشكل رقم (١) بإعتبار أنه أساس لأى تصميم سليم لفرن الدست .

علاقة قطر الفرن بمعدل الصهر
Cupola Diameter Related to Melting Rate

يعتمد معدل الصهر فى أى فرن دست على عاملين أساسين ، هما :

١ - نسبة الكوك فى شحنة الفرن .   ٢ - معدل تدفق الهواء إلى داخل الفرن .

إن طريقة حساب معدل الصهر فى فرن ذات قطر معروف ، وباستخدام المعدلات المثالية المناسبة لقطرة تعتمد حينئذ على نسبة الكوك فى الشحنة ، والعمود الأول الموجود فى الجدول رقم (١) يوضح معدلات الصهر التى تم الحصول عليها عند استخدام معدلات الهواء المثالية مع استخدام نسب مختلفة من الكوك فى شحنة الفرن .

وعلى هذا فإنه للحصول على معدل صهر قدره ١٠ طن/ساعة ، عندما تكون نسبة فحم الكوك فى الشحنة تمثل ١:٨ ، ففى هذه الحالة يكون الفرن المطلوب ذا قطر داخلى قدره ١٢٢ سم (٤٨ بوصة) . ومعدل التدفق للهواء يكون ١٣٣.٧ متر^{٣}/دقيقة (٤٧٢٠ قدم^{٣}/دقيقة) . ومن المهم التنبيه على أنه فى هذا المثال يتم الحصول على معدل صهر ١٠ طن/ساعة ، دون الأخذ فى الاعتبار ظروف الاعطال أو التوقفات أو ظروف تخفيض معدل تدفق الهواء ، فإذا ماأدخلت كل هذه الظروف فى عمليات التشغيل والخاصة بفترات توقف مروحة الهواء أو فترات التجليخ ، أو الفترة التى يكون فيها معدل الصهر منخفضاً فى بداية اليوم وفى نهاية فترة الصهر ؛ فسنجد أن المعدل الحقيقى لإنتاج معدن منصهر على مدى فترة التشغيل كلها سيكون أقل بكثير من ١٠ طن / ساعة . ولهذا فإنه يجب أن يؤخذ فى الحسبان هذه الملحوظة عند تحديد معدل الصهر المطلوب . فعلى سبيل المثال فإنه إذا كان مطلوباً الحصول على معدل صهر ١٠ طن / ساعة ، فإنه يجب تصميم أبعاد الفرن ومقاساته بحيث يعطى ١١-١٢ طن / ساعة عندما يشتغل فى الظروف المثالية .

تحديد مواصفات مروحة الهواء Blower Specification

على الرغم من تحديد معدل الهواء المثالى على أساس ١١٥ متر^{٣} / دقيقة / متر^{٢} ،

واتخاذ هذه القيمة كأساس لتحديد القطر الداخلى للفرن . فإنه عند التشغيل الحقيقى يمكن تعديل معدل الصهر (بالخفض أو الزيادة) وذلك بتغيير معدل تدفق الهواء . وعموماً فإن أفران الدست يمكن أن تعمل داخل نطاق يمثل حوالى ± ١٥-٢٠٪ من المعدل المثالى ، دون حدوث أى مشاكل خطيرة (فيما يختص بدرجة حرارة المعدن) عند زيادة أو نقص معدلات الهواء .

إن التوصية بتحديد معدلات الهواء موضحة فى جدول (١) العمود رقم (٥) حيث يسمح باستعمال مراوح لأفران الدست لتصريف هواء بمعدلات تزيد بمقدار ٢٠٪ عن الحالة المثالية المطلوبة . كما أن ضغط الهواء المدفوع من المروحة يجب أن يكون كافياً ، للتغلب على المقاومة التى يقابلها فى ماسورة الهواء الرئيسية وقميص الهواء والودنات ، وفوق كل هذا الخامات الموجودة بداخل الفرن . وفى نفس الفرن الواحد ذات قطر ثابت فإن هذه المقاومة قد تختلف بدرجة كبيرة معتمدة على طبيعة الخامات المشحونة بالفرن ، لكن القيم المعطاه يجب أن تكون متناسبة تحت ظروف الصهر ، وذلك لضمان السماح بامداد الفرن بالحجم المطلوب من الهواء .

الودنات (النظارات) Tuyeres

إن الهدف من وجود الودنات هو توصيل الهواء بكميات متساوية من قميص الهواء إلى داخل الفرن ، وذلك من أجل إحداث ظروف منتظمة ومتساوية للاحتراق خلال فرشة الكوك . وتختلف الآراء ووجهات النظر حول المساحات المثالية للودنات لكن بكيرا قامت بإجراء بعض التجارب التى أثبتت (عند استخدام معدلات هواء ثابتة وانتظام توزيع الهواء على كل ودنة) أن حجم أو مقاس الودنة ليس له تأثير على سير عملية الصهر فى أفران الدست ذات البطانة الحامضية والهواء البارد . وعلى وجه العموم فإنه يوصى بأن يكون إجمالى مساحات الودنات كلها يمثل حوالى ١/٤ إلى ١/٧ مساحة مقطع الفرن الداخلى بعد التبطين . وبناءً على ذلك فإن مساحة الودنة الواحدة تتغير تبعاً للقطر الداخلى للفرن ، وعندما تكون مساحة الودنات داخل هذا النطاق فإن الودنات فى هذه الحالة تكون كافية بدرجة كبيرة ، لمنع حدوث أى فقد خطير فى الضغط داخلها ، وبالتالى يؤدى هذا إلى عدم حدوث اختناق شديد يؤثر على المروحة . ومن ناحية أخرى فإن زيادة مساحة الودنة أكبر من

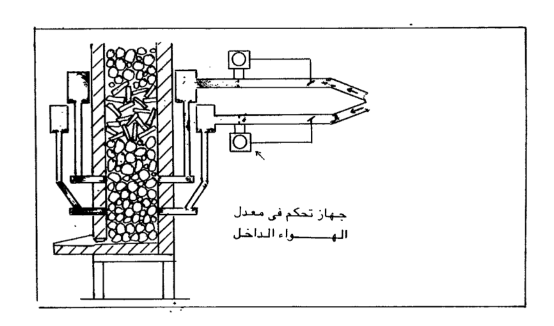
اللازم قد يؤدى إلى صعوبات ترجع إلى عدم انتظام توزيع الهواء ، خصوصاً فى الأفران ذات الأقطار الكبيرة .

أما شكل الودنات فإن تأثيره صغير جداً على سلوك الفرن ، ومعظم مصممى أفران الدست يفضلون الودنات ذات الشكل الصندوقى ، حيث تكون عملية تشكيلها أو تعديلها سهلة فى حالة ما إذا كان توزيع الهواء غير كاف . وعند اختيار مساحة الودنات داخل الحدود الموصى بها فإنه يفضل زيادة مساحة الودنات بدرجة كافية ، وذلك لتعويض النقص فى كمية الهواء الذى يحدث نتيجة احتمالية اختناق إحدى الودنات ، أو انخفاض كمية الهواء المارة داخلها نتيجة انسدادها بالجلخ أو المعدن ، وحتى لايحدث تاكل غير منتظم ومتكرر للبطانة بسبب هذا الاختناق .

ولحد معين يمكننا اعتبار أن عدد الودنات ليس له الأهمية القصوي ؛ ولكن لضمان سلامة وحسن توزيع الهواء بانتظام على فرشة الفرن كلها ، فإنه يجب زيادة عدد الودنات كلما زاد القطر الداخلي للفرن . وعدد الودنات يختلف من فرن لآخر حسب ماهو مبين بالجدول رقم (١) يجب أن تكون كل ودنة مزودة بتجهيزة (محبس Shutter) للتحكم في كمية الهواء لكل ودنة على حدة وعلى درجة عالية من الدقة . وفى معظم الأحيان يحدث تجمد للجلخ عند النهاية الداخلية للودنة نتيجة تعرضها للهواء البارد مما يستدعى الحاجة إلى غزغزة وتقليب الفحم يدويا Manual-Poking عبر هذه الودنة باستخدام سيخ أو عتلة حديدية طويلة . ويمكن التغلب على هذه المشكلة بدرجة كبيرة إذا تم إغلاق الودنات بالتناوب وهذا يؤدى بالتالى إلى انتظام وتحسن عملية الصهر .

إن طريقة العمل الحديثة فى بكيرا وأماكن أخرى عديدة ترى أنه يمكن تحسين أداء عملية الصهر فى أفران الدست ، وذلك باستعمال صفين من الودنات الموضوعة بطريقة صحيحة ، وبتقسيم الهواء بالتساوى على كلا الصفين من الودنات . وبهذه الطريقة يمكن الحصول على معدن ذات درجة حرارة أعلى مع محتوى كربونى أعلى مع المحافظة على نفس معدل استهلاك الفحم مع زيادة معدل الصهر عند نفس درجة الحرارة المعتادة . وعند استعمال صفين من الودنات فيجب قياس كمية الهواء لكل صف من الودنات والمتابعة الدقيقة لها . كما يجب أن يكون لكل صف من الصفين قميص هواء خاص به Windbelt كما هو

موضح بالشكل رقم (٢) . أما الجدول رقم ١ عمود رقم ٧ فيوضح المساحات المناسبة للودنات . لكن فى حالة تعديل الأفران الحالية فإنه يكون من غير المناسب أو يعتبر أكثر تكلفة إذا تم تغيير مقاس الصف السفلى للودنات ولذلك يفضل تركها على وضعها العادى كما هى مع إضافة صف علوى من الودنات بحيث تكون مساحته مساوية لمساحة ودنات الصف السفلى أو تمثل نصف مساحته فقط .



شكل رقم (٢) فرن الدست ذات الهواء المقسم .

ارتفاع اسطوانة (عمود) الفرن Shaft Height

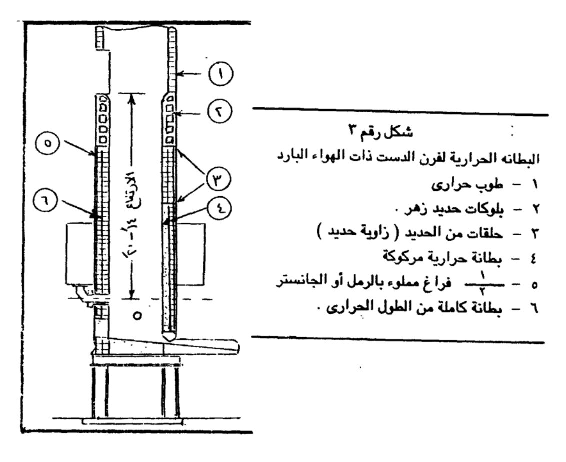
يقصد باسطوانة الفرن هى المسافة الرأسية ابتداء من الودنات وحتى باب الشحن Charging Door ، وهى تملأ بالحجم الكافى والمناسب من الخامات الحديدية والكوك ،

لتمتص أكبر قدر ممكن من الحرارة المنبعثة من الغازات المتصاعدة من الفرن . ويصل إرتفاع إسطوانة الفرن الموصى به لأفران الدست التى تعمل بالهواء البارد من ٤.٣ متر إلى ٦ متر (١٤ - ٢٠ قدم) . فإذا كان ارتفاع الاسطوانة أقل من ٤.٣ متر فإن مخزون الشحنات داخل الفرن يتعرض لعملية تسخين أولى بدرجة غير كافية ، وبذلك يحدث فقد كبير فى الكفاءة الحرارية للفرن Thermal Efficiency . وفى نفس الوقت فإنه من غير المستحب زيادة ارتفاع الاسطوانة عن ٦ متر ، للحصول على كفاءة حرارية ليست على درجة معقولة من الأهمية ، إلى جانب أنه فى حالة الحاجة إلى ضرورة تعديل الشحنة أو تغييرها ، فإن تأثير هذا التعديل لن يظهر قبل مرور وقت طويل ويرجع هذا إلى ارتفاع عدد الشحنات داخل الفرن .

بطانة الفرن Lining

يجب أن تكون بطانة الفرن سميكة بدرجة كافية ، لكى تتحمل التآكل والتشقق الناتج من تشغيل الفرن ، وقد يتم تبطين الفرن باستخدام طوب حرارى Fire Bricks أو حراريات مركوكة Rammed ، وفى حالة استعمال الطوب الحرارى تستخدم طريقة مناسبة للبناء بتشكيل حلقتين من الطوب الدائرى (طوب سكينة) أو بلوكات حرارية Blocks ذات مقاسات تتناسب مع قطر الفرن ، وهى طريقة أفضل من الناحية الاقتصادية حيث إن الحلقة الخارجية من الطوب الحرارى يمكن أن تتحمل وتظل مدة أطول فى الفرن ، بينما الحلقة الداخلية تحتاج إلى ترميم أو تغيير ويجب أن تكون الفواصل بين الطوب Joints أضيق مايمكن ، حيث إن مهاجمة الخبث لهذه الفواصل يؤدى إلى خفض عمر المبانى . وكل مدماك من المبانى يجب أن يوضع بعناية فى المنطقة التى فوق الودنات وبارتفاع ١.٥ متر (٥ أقدام). كما يتم تركيب حلقات من الحديد (على شكل زاوية حديد) كأرفف لتسند المبانى ، وعلى مسافات تتراوح بين ١.٥ - ٢ متر (٥ - ٧ قدم) بهدف تثبيت البطانة وتدعيمها ، كما هو موضح فى شكل رقم (٣) ومن المناسب ترك مسافة حوالى ١ سم (٠.٥ بوصة) بين المبانى والصاج الخارجى للفرن وتملأ هذه المسافة بالطين الحرارى أو الرمل أو الجانستر . وهذا الفراغ يساعد على امتصاص التمدد الذى يحدث للطوب الحرارى أثناء التسخين الابتدائى للفرن وكذلك ليمنع صاج الفرن من الاحمرار فى حالة اختراق المعدن السائل للطوب الحرارى من خلال الفواصل . أما فى حالة استعمال البطانة من الحراريات المركوكة

Rammed فيجب تحديد سمكها بحوالى ١٠ سم (٤ بوصة) مع استعمال حلقة خارجية من الطوب الحرارى ، حيث إن الحراريات المركوكة ذات السمك الكبير يكون من الصعب (وليس مستحيلا) تجفيفها وتحميصها . وعلى وجه العموم فإن سمك أى بطانة حرارية يجب ألا يقل عن ١٥ سم ، فيما عدا فى الأفران الصغيرة جداً والتى تعمل لفترات صغيرة . وفى حالة العمل لمدة لاتزيد عن ٦ ساعات فإن البطانة التى سمكها ٢٣ سم تكون كافية . أما فى حالة العمل لمدة لاتقل عن وردية كاملة فإن السمك المناسب يكون ٣٠ سم (١٢ بوصة) . أما

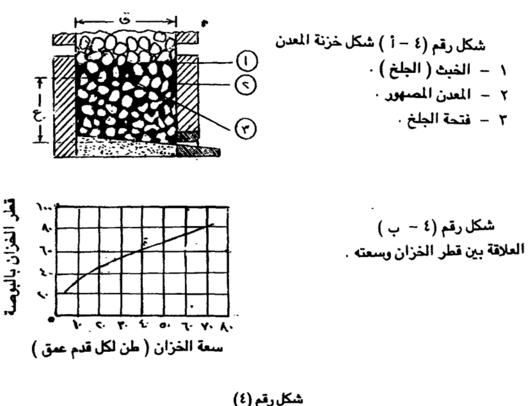


شكل رقم (٣) البطانة الحرارية لفرن الدست ذات الهواء البارد .

الجزء العلوى من الفرن فقد يتم بناؤه بطوب زهر مجوف Hollow Cast Iron ليتحمل الصدمات الناتجة عن شحن الخامات . أما المسافة التى فوق مستوى فتحة الشحن (المدخنة Stack) فقد يتم بناؤها باستخدام صف واحد من الطوب الحرارى الدائرى (طوب السكينة Circle Bricks) .

عمق خزان المعدن (الخزنة) Well Depth

الخزنة هى الجزء من الفرن الذى يقع فى المسافة بين الودنات حتى الركة الرملية فوق قاع الفرن والهدف منها هو تخزين كمية مناسبة من المعدن والخبث حتى يتم فصلهما عن



شكل رقم (٤)
(شكل خزنة المعدن والعلاقة بين قطر الخزان وسعته) .

بعضهما البعض ولحساب سعة الخزنة بدقة فهى المسافة بين الركة الرملية وحتى فتحة الخبث الجانبية ودائما ماتكون فتحة الخبث فى الجهة المقابلة لفتحة البزل Taphole وعلى مسافة حوالى ١٥ سم أسفل الودنات . وهناك طريقة حسابية لتقدير كمية المعدن الموجود داخل الخزنة والموضحة فى شكل (٤-أ ، ٤-ب) والتى تعطى سعة الخزانات لكل متر عمق أو قدم عمق بالنسبة لكل قطر من أقطار الأفران المختلفة ، ومن الطبيعى إذا سمح بتواجد جزء كبير من الجلخ ليتجمع داخل الخزنة ، فإن وزن المعدن سيكون أقل من الوزن المحسوب من خلال شكل ٤ - أ بفرض أن العمق الفعال = ع سم ∴ يكون حجم الخزان = ط نق٢ ع سم٣ وحيث إن كثافة الحديد المنصهر = ٠.٠٠٧ كجم/سم٣ وحيث إن الفحم يحتل حوالى ٥٠٪ من حجم الخزان ∴ تكون سعة الخزان = ٠.٥ ط نق٢ ع × ٠.٠٠٧ كجم .

فى الأفران التى تتم فيها عملية تصريف المعدن بصورة منقطعة Intermittently Tapping يجب أن تكون الخزنة ذات سعة كافية لضمان حدوث خلط متجانس ومناسب للمعدن . وعندما تكون الشحنة مكونة من زهر تماسيح وخردة زهر مسبوك ، فإن خزنة الفرن يجب أن تكون سعتها تعادل وزن شحنتين من شحنات الفرن على الأقل . أما إذا احتوت شحنة الفرن على نسبة مرتفعة من خردة الصلب ، أو إذا اضيفت إلى الشحنات نسبة كبيرة من السبائك الحديدية Ferro Alloys ، ففى هذه الحالة يجب أن تكون سعة الخزنة لاتقل عن ثلاث أو أربع شحنات خام . ومن ناحية أخرى فإن أقصى ارتفاع (عمق) لخزنة الفرن يجب ألا يزيد عن متر واحد ، وذلك لمنع الفقد غير الضرورى لدرجة حرارة المعدن ، ويجب أن يتم تعديل وزن شحنة الفرن بما يتلاءم مع سعة الخزان وأقصى عمق للخزان داخل نطاق المتر الواحد . ويجب الأخذ فى الاعتبار أنه من المؤكد أن الخلط المناسب والكافى للمعدن لن يحدث إلا فى حالة امتلاء الخزنة بالكامل . أما فى حالة الصب المستمر Continuous Tapping فإن عمق الخزنة يجب أن يكون كافيا فقط لمنع الجلخ من الدخول إلى الودنات ، عند أقل معدل متوقع لدفع الهواء ممكن استعماله .

الباب الثانى
الجوانب العملية فى عمليات تشغيل أفران الدست
Practical Aspects of Cupola Operation

فى كثير من المسابك يتم اعتبار أن أفران الدست من الأشياء المسلم بها . وقد تقع بعض الأخطاء البسيطة فى عملية التشغيل ، والتى يتم التغاضى عنها أو إهمالها بسبب اعتياد إدارة المسبك عليها . وهذه الأخطاء من الممكن أن تؤدى إلى مشاكل خطيرة بالإضافة إلى الخسائر المادية . وهذا الباب يدرس ويحلل بعض هذه المشاكل المعروفة فى عملية تشغيل أفران الدست .

ترميم بطانة الفرن Lining Repair

إن أول عمل يبدأ به اليوم فى المسبك هو ترميم بطانة الفرن ، وذلك بهدف إصلاح وترميم الأجزاء المتآكلة نتيجة الاحتكاك Wear والشقوق Tear والتى نتجت عن تشغيل الفرن فى اليوم السابق ، وعملية الترميم تهدف إلى ضمان أن الفرن له نفس مقاسات القطر الداخلى الأصلية قبل إعادة تشغيله ، حيث إن حدوث اتساع لمنطقة الصهر (بيت النار Melting Zone) وخزنة المعدن Well فى نهاية عملية الصهر يؤدى إلى انخفاض معدل الصهر ، مع ضرورة استعمال كمية أكبر من فحم الكوك كفرشة Coke Bed للوصول إلى الارتفاع المطلوب .

وإذا لم تتم عملية الترميم على الوجه الصحيح فسوف يكون من المتوقع حدوث متاعب للفرن منها :

١ – تكوين خبث عند نهاية الودنات أثناء التشغيل Slagging .

٢ – توقف تام لعملية الصهر بسبب تكوين خبث على شكل حصيرة أو كوبرى Bridge .

٣ – ظهور بقع حمراء ساخنة على صاج الفرن أثناء التشغيل Hot Spots .

٤ – قد يحتاج الفرن إلى إعادة بنائه ربما بعد شهر واحد فقط من عملية التجديد السابقة .

وفى معظم الأحيان يلقى المسؤولون باللوم على الطوب الحرارى وسوء نوعيته ، بينما فى واقع الأمر يرجع السبب الحقيقى إلى الطريقة المتبعة فى عملية الترميم نفسها . ومن الأمور التى يجب أن تؤخذ فى الأعتبار أن عملية الترميم داخل فرن الدست هى من العمليات الصعبة ، خصوصاً فى حالة الأفران الضيقة . لكن مع ذلك ولضمان سلامة عملية الترميم فإنه يجب تذكير العامل القائم بعملية الترميم بهذه النقاط الأساسية التالية :

١ - تنظيف الفرن جيداً من الداخل Cleaning .

٢ - تخفيض نسبة الرطوبة فى مواد الترميم Moisture Content .

٣ - تجفيف مكان الترميم بطريقة بطيئة Drying Slowly .

تنظيف الفرن من الداخل :

عند القيام بتنظيف الفرن يجب إزالة كل ماتبقى من الجلخ وكتل الفحم الملتصقة ومصهور الزهر الموجود فى الشقوق ، ويجب أن تجرى عملية التنظيف بعناية حيث إن المونة الحرارية لايمكنها الالتصاق فى وجود هذه الشوائب من جلخ وفحم وزهر . أما الطوب الذي أصبح سطحه زجاجيا أملس Glazed فليس من الضرورى إزالته ولكن يكفى القيام بتخشينه لمساعدة المونة الحرارية على الالتصاق به .

تخفيض نسبة الرطوبة فى مواد الترميم :

يجب أن تضاف المياه إلى خلطة المونة الحرارية Patching Material وبالكمية الضرورية فقط ، لتجعلها مرنة وجاهزة للعمل .

تجفيف أماكن الترميم بطريقة بطيئة :

يجب إجراء عملية تجفيف بطريقة بطيئة للأماكن التى تم ترميمها قبل تجهيز الفرن للتشغيل فى الصهرة التالية . وفى حالة ما إذا لم تتم عملية التجفيف بدرجة كافية ، أو لم تتم نظافة الفرن تماماً قبل إجراء عملية الترميم ، فإن المرمة سوف تنفصل عن بطانة الفرن وتسقط فى أثناء الصهرة . وهذا يؤدى بالضرورة إلى تكوين جلخ عند مداخل الودنات وفى أسوأ الظروف قد يتكون كوبرى (حصيرة Bridge) مكون من الجلخ ومواد التبطين المتساقطة . وهذا الكوبرى يعوق عملية نزول الخامات داخل الفرن ، وتؤدى بالتالى إلى

توقف عملية الصهر تماماً . وحتى فى حالة عدم سقوط مواد التبطين فإن الأجزاء الداخلية التى خلفها تبدأ فى التعرض لعملية التآكل والتفتت ، مما يؤدى إلى ضرورة إزالتها عند إجراء عملية الترميم التالية ، وبالتالى يؤدى إلى زيادة سمك الأماكن المطلوب ترميمها ، وبالتالى لن يتم تجفيفها بصورة أفضل من حالتها فى المرمة السابقة ، وبالتالى تكون فرصة سقوطها فى بداية الصهرة التالية فرصة أكبر من التى قبلها . وعلى هذا تبدأ ظهور سلسلة من المشاكل ، تؤدى فى نهاية الأمر إلى ضرورة تغيير الطوب الحرارى فى بيت النار بالكامل ، وأحيانا بعد أقل من شهر من التبطين السابق .

وهذا الوضع منتشر فى المسابك التى يكون بها فرن واحد فقط ، والذي يتم تشغيله كل يوم حيث لا يكون هناك الوقت الكافي لإجراء عمليات التنظيف والترميم والتجفيف بالطريقة الصحيحة . وفى ظل هذه الظروف فإنه من المتوقع انخفاض عمر البطانة ، وفى هذه الحالة لا يجب توجيه اللوم إلى أسلوب الترميم أو العامل القائم بالترميم ، حيث إنه يقوم بأداء عمله على أكمل وجه فى ظل ظروف عمل صعبة .

يجب المحافظة على مقاس القطر الداخلى عند منطقة بيت النار كما هي فى التصميم الأصلى للفرن ، وإلى جانب ذلك يجب التأكد من أن البطانة فى جميع أجزاء الفرن ذات سمك واحد ، وذلك بعمل قياسات تبدأ من حافة الودنات الخارجية إلى حافة منطقة الترميم الداخلية ، وفى اتجاه محور الفرن وعلى جميع الودنات للتأكد من انتظام وتساوى سمك البطانة فى جميع الاتجاهات .

وحديثا فإن معظم الأفران التى يزيد قطرها عن ١٠٠ سم يتم ترميمها باستخدام طريقة الرك بالهواء المضغوط Monolithic Patching باستخدام مسدس الهواء ، وهذه الطريقة تؤدى إلى تخفيض زمن الترميم والصيانة وتكلفة الخامات ، كما إنها تعطى نتائج مناسبة وثابتة .

وهناك بعض النقاط التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار ، وهى :

١- عملية التنظيف : فى حالة استخدام الجانستر فى الخلطة الحرارية لعملية الترميم فإنه من الواجب إزالة الجلخ والكوك الملتصق بجوانب الفرن ، ولكنه فى نفس الوقت ليس من الضرورى إجراء عملية التخشين للأجزاء الملساء من البطانة ، حيث إن مواد الترميم فى

هذه الحالة لها القدرة على الالتصاق بالأجزاء الملساء .

٢- يجب أن تستخدم عوارض لتثبيت مواد الترميم ، والتى تكون قوة تحملها ضعيفة وهى رطبة إلى أن تتم عملية التحميص (التزجيج Vitrification) وتعتمد طريقة استخدام العارضة على مدى اتساع فتحة الاشعال الخلفية ، لكنه قد يكون من الضرورى وجود صف من الطوب الحرارى فوق الودنات مباشرة .

٣- ضبط نسبة الرطوبة : من الضرورى وجود نسبة كافية من المياه فى خلطة المونة ، ولكن من الضرورى أيضاً معرفة أن الرطوبة الزائدة واختلاف نسبة توزيعها فى الخلطة قد يؤدى إلى ظاهرة التشظى Spalling .

٤- عملية الترميم : يمكن تقليل قوة ارتداد المونة ، وذلك باستعمال مواد الترميم وقذفها بالزاوية المناسبة والصحية بالنسبة إلى سطح البطانة الحرارية ، مع استخدام الحركة الدائرية المتدرجة . ولمنع حدوث تشظى Spalling يجب قذف المادة الحرارية إلى أسفل وفى طبقات أفقية ، لبناء البطانة بطريقة متدرجة تبدأ من عند الودنات وفى الاتجاه إلى أعلى . لهذا يجب استخدام سقالة مناسبة لتسهيل قيام العامل بالمهمة على وجهها الصحيح . كما يجب أن يظل مستوى هواء الرك وحجمه ثابتا وكافياً . حيث إن التقصير فى هذه الأمور كلها أو بعضها سيؤدى بالتالى إلى خفض عمر البطانة .

فرشة الكوك Coke Bed

إن أكثر الأعمال تأثيراً فى نجاح تشغيل أفران الدست هو طريقة تحضير فرشة الكوك ، وذلك لأن الارتفاع المبدئى لفرشة الكوك فوق الودنات أولا ثم درجة اشتعال هذه الفرشة ثانياً (قبل بداية شحن المعدن) هما من العوامل الحيوية المؤثرة ، والتى تحكم ولمدى كبير ، درجة حرارة المعدن ومعدل الصهر اللذين يمكن الحصول عليهما فى بداية تشغيل الفرن . ومن المستحيل تلافى أو علاج أى خطأ فى إعداد فرشة الكوك قبل مرور ساعة على الأقل من بداية تشغيل الفرن ونزول المعدن .

وهذه النقاط معروف أهميتها ولذلك فإننا نعتبرها من الأمور المسلم بها . وفى كثير من الأحيان تتم عملية إعداد فرشة الكوك فى العديد من المسابك فى غياب طاقم الإشراف ، وينتج عن ذلك نزول كميات من الزهر البارد حيث يتم صبه على شكل تماسيح فى وقت

مناسب فى بداية تشغيل الفرن ، وهذا الوضع عادة مايكون مقبولاً . ولايوجد سبب واحد مقنع لمعرفة لماذا يجب أن يحدث ذلك . وهناك أربع نقاط يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند تجهيز فرشة الكوك ، وهى :

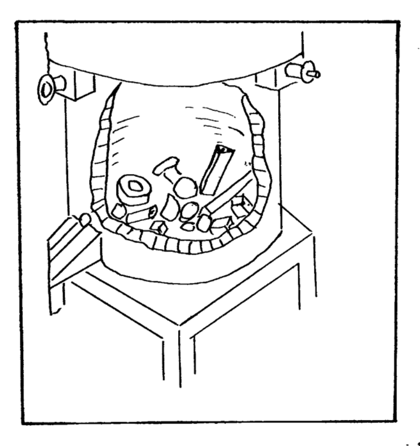
١ – طريقة الاشعال Ignition .

٢ – الاضافات Additions .

٣ – سد الفراغات والغزغزة (التكبيس) Consolidation .

٤ – القياس Measurement .

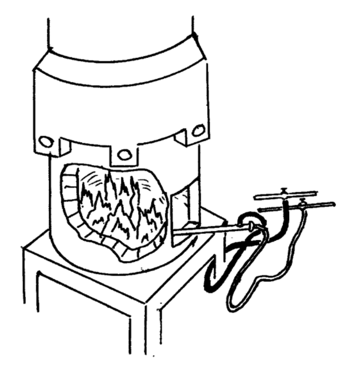
توجد طرق عديدة لإشعال فرشة الفحم فى المسابك . والطريقة الأولى موضحة فى شكل رقم (٥) والتى يستخدم فيها الخشب مع الخيش المبلل بالزيت Oily Rags ونادراً مايستخدم الفحم الحجرى ، وهذه الطريقة لها عيوبها وهى أن تكلفة العمال المستخدمة فى تجميع وتجهيز المواد المستخدمة فى الإشعال تكلفة عالية ، إلى جانب أنها تأخذ وقتاً غير قصير فى إشعال الفحم وينتج عنها أدخنة ، وهذه الطريقة تخالف توصيات الحكومات المحلية فى بريطانيا والمعمول بها منذ ١٩٦٨ بخصوص



شكل رقم (٥) الطريقة القديمة لاشعال الدست .

مكافحة تلوث الهواء .

وهناك طريقة أفضل وهى فى الحقيقة الطريقة الوحيدة المقبولة ، والتى تستجيب للقواعد المعمول بها بشأن مكافحة تلوث البيئة ، وهى موضحة فى الشكل رقم (٦) حيث يستخدم فيها لمبة تسخين يتم إمدادها بالغاز والهواء (أو السولار والهواء) وهى طريقة بسيطة وسهلة ونظيفة ، كما أن المعدات المستخدمة فيها بسيطة وممكن تركيبها فى معظم المسابك . وحتى إذا لم يكن ممكناً عمل وصلات للإمداد بالغاز والهواء ، فإنه من الممكن استخدام تجهيزة كاملة يمكن نقلها على ترولى . ويتم كبس خزان الوقود بواسطة ضاغط صغير (كومبريسور) .

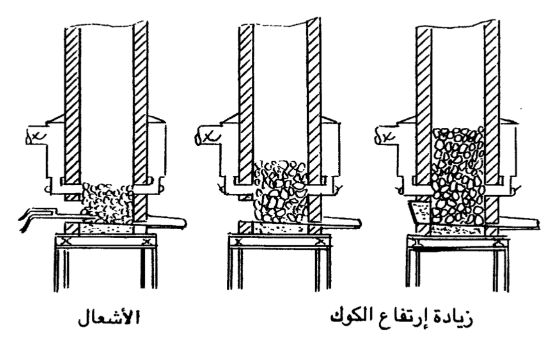


شكل رقم (٦) الطريقة الحديثة لاشعال الدست .

ويمكن استبدالها بوحدة مكونة من اسطوانتى أكسجين وبروبان . ونظراً للأهمية القصوى لطريقة إعداد فرشة الكوك بالطريقة الصحيحة ، فإنه من الواجب اتباع بعض القواعد الضرورية ، والموضحة فى الشكلين رقمى (٧ ، ٨) وهى على النحو التالى :

أولاً يتم تسوية الفرشة وحتى مستوى الودنات يدوياً ، ويتم إشعال الفحم باستخدام لمبة الاشعال والتى توضع بارتفاع عدة سنتيمترات فوق مستوى الركة الرملية ، وتكون مستندة على بعض قطع الكوك ، بحيث تكون فوهة لمبة الإشعال بالقرب من منتصف الفرن . ويبدأ فى إشعال الفحم بعد ذلك وأغطية الودنات مغلقة ، وبعد التأكد من تسوية الفحم

واشتعاله بانتظام يتم فتح أغطية الودنات مع إضافة كميات أخرى من الفحم عبر باب الشحن العلوى مع استمرار الإشعال ، حتى يصل أقصى إرتفاع للفرشة لمستوى يقل بمقدار ٣٠ سم عن المستوى النهائى . وعند اشتعال فرشة الفرن عند أقصى ارتفاع لها يتم غلق الفتحة الخلفية (فتحة الترميم Fettling Door) وتسويتها .

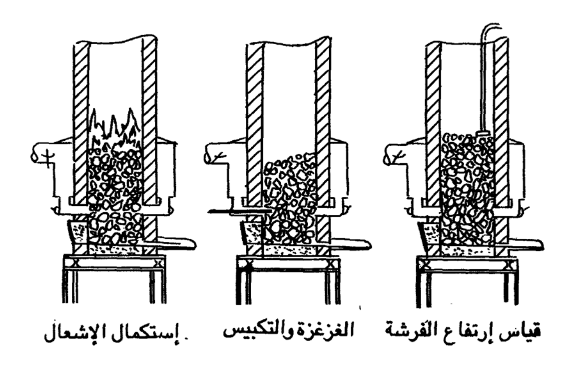


شكل رقم (٧) الطريقة الحديثة لإعداد فرشة الكوك بالدست .

بعد ذلك يتم غلق أغطية الودنات مرة أخرى ، ويستكمل إشعال فرشة الفحم باستخدام مروحة الهواء لعدة دقائق وبمعدل هواء خفيف ، ويجب التأكيد على أن عدة دقائق فقط هو المطلوب . وفى هذه الأثناء يتسرب جزء من الهواء إلى أسفل ليمر خلال الخزنة ، ويقوم بتسخين فتحة البزل Taphole تسخيناً مبدئياً . وهذه هى الطريقة المفضلة حيث إن الوقت المستخدم يكون محدوداً .

وعند إيقاف المروحة يتم فتح أغطية الودنات ، وإجراء عملية تسليك للودنات ، وعملية غزغزة وتقليب للفحم داخل الفرن من خلال فتحات الودنات كلها باستخدام عتلة حديدية

مخصوصة ، وذلك بهدف غلق وسد أى فراغات قد تكون موجودة بالفرشة . وعند حدوث أى تقصير فى خطوات هذه العملية البسيطة فسوف يؤدى بالتالى إلى انخفاض درجة حرارة الزهر فى بداية التشغيل . وإذا حدث انخفاض لمستوى فرشة الفحم فوق الودنات لمسافة ٣٠ سم ، بسبب القيام بعملية التسليك والغزغزة فقط بالطريقة التى سبق شرحها ، فيعتبر هذا أمراً طبيعياً .

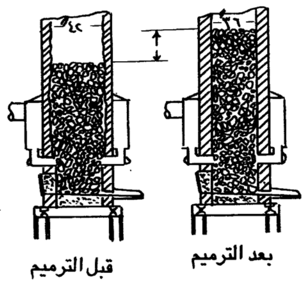


شكل رقم (٨) استكمال عملية إعداد فرشة كوك فرن الدست .

ثم يتم مراجعة إرتفاع الفرشة واستكمال شحن الفحم حتى تصل إلى المستوى المتفق عليه مسبقا . وفى هذه الحالة فإن طبقة سمكها حوالى ٣٠ سم من الفحم البارد يجب إضافتها وهذا يؤدى إلى أنتاج معدن ساخن وإشعال جيد عند بداية شحن الخامات فى بداية الصهرة . وهذا يمنع انصهار الخامات أثناء شحن الفرن وقبل تشغيل المروحة . وهذا بالتالى يمنع حدوث انسداد فتحة البزل بالمعدن البارد (تكوين مسمار) عند بداية نزول المعدن .

ومن الواجبات الضرورية قبل شحن الخام ، القيام بقياس إرتفاع فرشة الكوك فوق الودنات . وقد تم حساب الارتفاعات المثالية لكل مقاس من أفران الدست ولكل ظرف من

ظروف التشغيل ، وليس من الملائم استخدام وزن معين لفحم الكوك ، حيث سيؤدى ذلك إلى اختلاف ارتفاع الفرشة يوما عن يوم تبعاً للمقاس الداخلى للفرن (شكل ٩) . فمثلاً أثناء اتساع الفرن وقبل إجراء عمليات الترميم ، إذا تم استخدام وزن معين من الكوك سيؤدى ذلك إلى انخفاض مستوى فرشة الفحم . أما بعد إجراء عملية الترميم سيؤدى ذلك إلى أن يصبح قطر الفرن ضيقاً ، ويؤدى ذلك إلى زيادة إرتفاع نفس الوزن من الكوك الذى تم وضعه قبل الترميم ، وبالتالى يؤدى إلى انخفاض درجة الحرارة ، وتأخر ظهوره وهذا المثال يبين بوضوح أهمية قياس فرشة الفحم فى كل مرة .



شكل رقم (٩) عملية الترميم وتأثيرها على ارتفاع فرشة كوك الدست .

انسداد فتحة البزل Hard Taphole

يحدث انسداد لفتحة البزل (فتحة صب المعدن) بسبب تجمد المعدن البارد داخلها ، وهذا عادة مايحدث فى بداية تشغيل الفرن ونادراً مايحدث بعد توقف الفرن لمدة طويلة ، وأحيانا يكون السبب هو تجمد الجلخ .

والأسباب المحتملة لحدوث انسداد للفتحة هى مايلى :

١ – الإعداد غير الجيد لفرشة الفحم .

٢ – استعمال فرشة الكوك أو خشب حريق يحتوى على مسامير أو بقايا معدنية .

٣ – زيادة طول فتحة تصريف المعدن Long Tap Hole .

٤ – زيادة رطوبة أو برودة فتحة البزل .

٥ – استعمال مواد غير مناسبة لسد فتحة البزل .

طرق التغلب على مشكلة انسداد فتحة البزل

١ – الإعداد الصحيح لفرشة الكوك :

– يجب التأكد من أن فحم الكوك الموجود بالخزنة تم اشتعاله (تسويته) تماماً قبل إغلاق فتحة الترميم .

– يجب التأكد من عدم شحن خامات معدنية فوق كوك متوهج مباشرة ، وذلك باستكمال إعداد الفرشة بإضافة فحم بارد لمسافة ٢٣ – ٣٠ سم ، وهذه الطريقة تمنع الخامات (التى تم شحنها قبل تشغيل المروحة) من الانصهار قبل الانتهاء من عملية الشحن بالكامل .

٢ – عدم تلوث فحم الكوك أو خشب الحريق :

– يجب استعمال فحم كوك لايحتوى على أى قطع من الحديد أو المسبوكات التى قد تكون مدفونة فى الفحم .

– يجب استعمال طريقة لمبة الاشعال بدلاً من استخدام نشارة خشب قد تحتوى على مسامير أو بقايا معدنية .

٣ – اختيار الطول المناسب لفتحة البزل :

فى أنواع الأفران التى تصب المعدن بصورة متقطعة Intermittently Tapped يصل طول فتحة البزل من ٤ – ١٠ سم اعتماداً على قطر الفرن وقطر فتحة البزل . أما الأفران ذات الصب المستمر Continuous ، والتى تكون بها فتحات بزل ذات قطر واسع فإنه مسموحٌ زيادة طول الفتحة . وفى حالة الأفران ذات البطانة السميكة فيتم تخفيض طول الفتحة بعمل فجوة فى البطانة أو حتى فى حالة الضرورة يمكن عملها خارجاالفتحة الأمامية للفرن .

٤ – تجنب فتحة البزل الباردة أو الرطبة :

– يتم بقدر الإمكان خفض حجم الحراريات المستخدمة فى بناء فتحة البزل ، والتى من

الضرورى تجفيفها ويفضل استبدالها بطوب حرارى مخصوص لفتحة البزل .

- لابد من تجفيف فتحة البزل وتحميصها أو تسخينها مبدئياً باستخدام لمبة تسخين عند إعداد الفرن .

- فى الأفران ذات التصريف المتقطع يمكن تجفيف فتحة البزل وتسخينها بالكامل ، وذلك بتركها مفتوحة عند بداية عملية الصهر حتى بداية ظهور قطرات المعدن المنصهر من الودنات ، ثم يتم غلقها جزئيا باستخدام رمال سوداء Black Sand أو دلليك رملى Core ، وذلك قبل إدخال السدادة الحرارية Bott فى فتحة البزل . أما فى الأفران ذات الصب المستمر فإنه يتم سد فتحة البزل من الداخل باستخدام الرمل ، وذلك قبل شحن فرشة الكوك .

٥ - المواد المستخدمة فى سدادة فتحة البزل (الطينة الحرارية) Botting Material

فى الأفران ذات الصب المتقطع يجب أن تكون الطينة الحرارية من مواد مناسبة ، ونادراً مايعرف المسؤولون بحدوث مشكلة انسداد فتحة الفرن إلا بعد مرور وقت طويل ، ولاخلاف على أن طاقم المشرفين لايعرفون كيف يتعاملون مع هذه المشكلة . وبمرور الوقت وبعد تواجد المعدات المناسبة تكون هناك استحالة لفتح فتحة البزل ويتوقف الإنتاج . وشكل رقم (١٠) يوضح المعدات الأساسية المطلوبة فى هذه الحالة ، وهى :

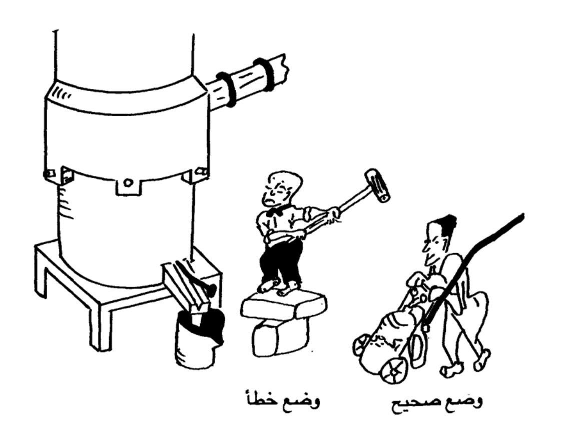
١ - اسطوانة أكسجين .

٢ - منظم ضغط .

٣ - خرطوم مطاط مرن .

٤ - وصلة معدنية (مجهزة) مخصوصة للخرطوم .

٥ - ماسورة صلب بقطر خارجى ١٠ مم وقطر داخلى ٥ مم وطولها ١.٢ - ١.٨ متر لاستخدمها فى الأفران المتقطعة أما فى الأفران المستمرة فنحتاج إلى ماسورة أطول .



شكل رقم (١٠) الطريقة الصحيحة لفتح فتحة البزل المسدودة .

وتتم عملية الفتح على النحو التالى :

١ - يتم تسخين نهاية الماسورة الصلب لدرجة الاحمرار عن طريق إدخالها فى إحدى الودنات داخل فرشة الكوك المتوهجة ، أو عن طريق استعمال لهب الأكسى أستيلين .

٢ - أخرج الماسورة بعد تسخينها من الودنة وضعها بالقرب من الفتحة المسدودة ، ويتم فتح أنبوبة الأكسجين بضغط ضعيف (٣٥ كيلو باوند) .

٣ - يتم توجيه أنبوبة الاشتعال إلى الفتحة المسدودة وإدخالها بحذر عند مكان المعدن المتجمد تماماً .

٤ - يتم استبعاد أنبوبة الاشتعال عندما يبدأ المعدن فى النزول من فتحة البزل بعد فتحها .

ملحوظة : لتجنب حدوث أى تلف أو اتساع زائد لفتحة البزل ، فإنه يمكن التحكم فى شدة التأثير عن طريق استخدام ماسورة صلب ذات قطر صغير وسمك كبير مع خفض ضغط الأكسجين وعند إجراء العملية السابقة يجب اتخاذ احتياطات الأمن التالية :

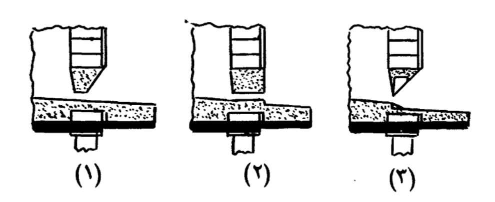
١- لاتجعل الاتصال بين الماسورة الصلب وبين الخرطوم المرن واسطوانة الأكسجين اتصالاً مباشراً ، حيث إن الخرطوم المطاط يمكنه الاحتراق وقد يحدث اشتعال عكسى فى اتجاه أنبوبة الأكسجين ، إذا استعملت الأنبوبة الصلب بطريقة فجائية واستمر الاشتعال . وعادة مايتم توصيل الأنبوبة مع الخرطوم المطاط ، باستخدام تجهيزة معدنية مخصوصة .

٢- لايتم فتح أسطوانة الأكسجين إلا بعد تسخين الماسورة جيداً ، وإلا فإن الأكسجين قد يساعد على اشتعال المواد القابلة للاحتراق كالملابس وغيرها .

٣- يتم استخدام عاملين فقط أحدهما للتحكم فى أسطوانة الأكسجين والآخر للتعامل المباشر مع الفتحة .

٤- تأكد من أن ماسورة الأكسجين ممسوكة جيداً عند بداية فتح الأسطوانة .

٥- تأكد أن العمال يرتدون نظارات واقية وقفازات من الاسبستوس .



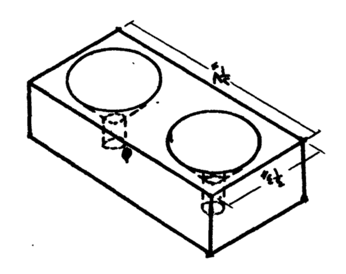
شكل رقم (١١) أنواع فتحات البزل .

بناء فتحة البزل وأنواع الطينات المستعملة فى غلقها

Taphole Construction and Botting Clays

إن العديد من المسابك التى بها أفران ذات التصريف المتقطع تعطى اهتماماً غير كافٍ لتصميم فتحة البزل والطينة الحرارية المستخدمة فى سدها ؛ والشكل رقم (١١) يوضح عدة تصميمات لفتحة البزل . وأثبتت الخبرة الميدانية أن النوع الأول رقم «١» هو أفضل نوع حيث إنه يعطى نتائج جيدة ومناسبة . وعادة مايتم عمل الفتحة من الجانستر Ganister أو الطين الحرارى Fire Clay وذلك لرفع متانة الفتحة ، ومع هذا النوع من التصميمات فإنه من الممكن إزالة الخابور الجاف Dried Plug من فتحة البزل عند الحاجة إلى فتحها بهدف تصريف المعدن . كما أن الخابور سوف يتزاح على هيئة قطعة واحدة فى طريق تيار المعدن .

أما النوع الثانى وهو من نوع الفتحة الأمامية المستقيمة ، فيتطلب خابوراً ذا لدونة عالية ودرجة كبيرة من الالتصاق ، حيث يعتمد هذا الخابور على الالتصاق فى مقدمة الفتحة ؛ وعند الحاجة إلى فتح الخابور فإنه من الضرورى استخدام سيخ مدبب Pointed Bar لإزالة بقايا الخابور المتفتت ، وعندما ينساب المعدن تنصهر بقايا الخابور بسبب حرارة المعدن ، وتنتقل مع تيار المعدن .



شكل رقم (١٢) الطوبة الحرارية ذات الفتحتين المناسبة للاستعمال العام للبزل .

أما النوع الثالث فهى فتحة ذات مقدمة مخروطية عميقة ، وعادة ماتحتوى على جزء غير متوازٍ داخل الفتحة ، والتى أحيانا مايتم تشكيلها من الطوب الحرارى . ومشكلة انسداد الفتحة نادراً مايحدث مع هذا النوع من الفتحات ؛ لكن هذا النوع يتطلب خابوراً طويلاً ذا لدونة عالية Very Plastic مع متانة منخفضة عند الجفاف Low Dry Strength .

والطريقة البسيطة لعمل فتحة البزل هى استخدام الطوب الحرارى على الصورة الموضحة فى الشكل رقم (١١-١) . أما الشكل رقم (١٢) فإنه يبين نوعاً من الطوب الحرارى الذى يحتوى على فتحتين ، ويعتبر هذا هو أفضل تصميم لعموم الاستعمال ، وله ميزة أنه لا يحتاج إلى تجفيف وهو أيضاً يسخن بسرعة فى بداية العمل . كما أن الفتحة العليا تكون جاهزة للعمل فى حالة الحاجة إليها .

عيوب السباكة الناتجة بسبب خلطة الطينة الحرارية والخوابير
Casting Defects from Botting and Clay Mixtures

إن بعض السبّاكين لايضعون فى اعتبارهم أن شوائب الخبث ، والتى من الممكن أن تتواجد فى المسبوكات ، قد تنتج بفعل استعمال خوابير Botts مصنوعة من طينة ذات خواص حرارية منخفضة يتم الحصول عليها بسعر أرخص من مصادر محلية ، وشوائب الخبث هذه تنتج من تراكم الخبث المنصهر فى خزان أو بوتقة المعدن ، وخصوصاً أن الخوابير الطينية يقوم المعدن السائل بإزاحتها بالكامل ، وكنسها فى كل مرة يتم فيها فتح الفرن ، لتستقر بعد ذلك فى البوتقة أو معالق الصب .

إن عملية اختيار الخابور والخلطة Bott Mixture تتطلب نوعاً من العناية ، بهدف التخلص من عيوب السباكة ، وبهدف الحصول على خلطة صالحة للعمل بها . وعلى هذا فإن هذه الخلطة يجب أن تتوافر فيها المتطلبات الآتية :

١- يجب أن تكون بقايا الخابور إزالتها سهلة من على سطح المعدن .

٢- يجب أن تكون الخلطة مناسبة ، بحيث لاتنصهر على سطح المعدن أو تعطى خبثاً سائلاً .

٣- يجب ألا تتفاعل مع المعدن أو مع البطانة الحرارية للبوتقة ، ويجب ألا ينسحب مع تيار المعدن حتى لاينتج عنه عيوب سباكة .

٤- يجب أن تكون سـهلة التـشكيل يدوياً لتـعطى أحـسن شكل ، وبحـيث تؤدى عند استعمالها إلى إيقاف Stopping لتيار المعدن بطريقة مأمونة وسهلة .

٥- يجب أن يلتصق بشدة بالزانة Bott-stick أثناء العمل ، على أن يترك الزانة نظيفة بمجرد لف الزانة ببساطة Slight Twist .

٦- يجب ألا تكون رطبة أو مبللة حتى لا تسبب طرطشة أو تطاير للمعدن Metal Splut-tering .

٧- يجب أن يظل الخابور ثابتا فى مكانه فى فتحة البزل وحتى ميعاد الفتحة التالية .

٨- يجب أن يتوافر فى الخابور خاصية سهولة الإزالة عند الحاجة إلى إزالته .

٩- يجب أن يترك فتحة البزل نظيفة ولايكون خبث أو يتفتت .

١٠- يجب ألا تتكمش بطريقة غير مناسـبة أثناء الجفـاف وأن تكون مُنفذة حتى تسمح للبخار بالهروب أثناء الجفاف .

وحتى تتوافر هذه المتطلبات والشروط السابقة ، فإن الخلطة يجب أن تتكون من خامات :

١- ذات درجة إنصهار مرتفعة High Fusion Temperature .

٢- ذات متانة معتدلة عند الجفاف Medium Dry Strength .

٣- ذات درجة انكماش منخفضة أثناء الجفاف Low Drying Contraction .

ومن المؤكد أن إضـافة الرمل الأحمـر أو الفحم الحجرى الناعم المحتوى على نسبة عالية من الشوائب Ash سيؤدى بالتالى إلى خفض درجة انصـهار الخلطة . ومـهما كان تأثير هذه العوامل لايؤدى إلى خفض درجة الانصهار إلى أقل من ١٤٠٠°م ، فيجب ألا ينشأ عيوب فى المسبوكات يكون مرجعها هو طينة الخوابير .

ويوجد نوعان من الخلطات ينصح بهما فى هذا المجال ، حيث إنه وجد بالتجربة أنهما كافيان ومناسبان لظروف العمل ، وهما :

١- النوع الأول للخوابير القصيرة وظروف الفتح المتكررة :

طينة حرارية (تحتوى على ٣٠ - ٥٠٪ طينة) بنسبة ٧٠ - ٨٠٪ من الخلطة .

تراب فحم ناعم (تحتوى على أقل من ١١٪ شوائب) بنسبة ١٠ – ٢٠٪ من الخلطة .

أو نشارة خشب (نشارة ناعمة أو متوسطة) بنسبة ٢ – ١٠٪ من الخلطة .

٢- النوع الثانى لفترات التجميع الطويلة وفتحات البزل الطويلة :

طينة حرارية (تحتوى على ٣٠ – ٥٠٪ طينة) بنسبة ٥٠٪ من الخلطة .

تراب فحم ناعم (تحتوى على أقل من ١١٪ شوائب) بنسبة ١٠ – ٢٠٪ من الخلطة .

أو نشارة خشب (نشارة خشنة أو متوسطة) بنسبة ٢ – ١٠٪ من الخلطة .

رمل أسود (رمل دلاليك محروق) بنسبة ٢٠ – ٣٨٪ من الخلطة .

تسرب الهواء Air Leaks

إن أهمية إمداد أفران الدست بالكميات الصحيحة من الهواء سوف يتم تناولها فى مكان آخر من هذا الكتاب . إن معظم المشاكل التى واجهت بكيرا يرجع سببها إلى عدم كفاية كمية الهواء المدفوعة إلى الفرن . وفى معظم الأحيان لايكون السبب راجعاً إلى عدم اختيار الحجم المناسب لمروحة الهواء . وقد يكون السبب هو انسداد مدخل المروحة بالقمامة، ولكن السبب السائد هو تسرب الهواء من أغطية الودنات أو من قميص الهواء أو جسم المروحة نفسها . وهناك شك بنسبة بسيطة فى أن كفاءة التشغيل فى معظم أفران الدست من الممكن تحسينها ، إذا تم منع تسريب الهواء من تلك الأماكن .

الباب الثالث

العوامل المؤثرة على أداء أفران الدست وطرق التحكم فيها وضبطها

Factors Affecting Cupola Perfrmance and Their Control

إن الهدف من وجود أفران الدست هو إمداد المسبك بالمعدن المنصهر بالمعدل المطلوب ودرجة الحرارة المناسبة ، وذلك لصب مسبوكات سليمة . كما يجب أن يكون التركيب الكيميائى للمعدن هو التركيب المطلوب . وكل هذه المواصفات يجب أن تكون موجودة جنبا إلى جنب مع عنصر اقتصادى التكاليف وذلك لتحقيق ربح معقول . وسوف نناقش بشئ من التفصيل هذه العناصر والتى تؤثر على أداء الفرن :

معدل الصهر Melting Rate

يعتمد معدل الصهر على النسبة بين وزن الكوك إلى وزن الخام فى الشحنة الكاملة . كما يعتمد أيضا على معدل احتراق هذا الكوك . ومعدل احتراق هذا الكوك يعتمد على معدل تصريف أو تدفق الهواء Blast Rate . والعلاقة بين كل من معدل تدفق الهواء ونسبة الكوك فى الشحنة وبين معدل الصهر توضحها المعادلات التالية :

بفرض أن :

Q = معدل تدفق الهواء (متر مكعب / دقيقة) عند T = O•c , P = 101.3 Kpa

M = كمية الكربون المحترقة (كيلو جرام / دقيقة) .

L = كمية الهواء المستهلكة (متر مكعب لكل كيلو جرام من الكربون المحترق) .

C = كمية الكربون المحترقة (كيلو جرام لكل ١٠٠ كيلو جرام من المعدن المنصهر) .

S = معدل الصهر (طن معدن / ساعة) .

وحيث إن $Q = M \times L$

$$M = \frac{S \times ١٠٠٠}{٦٠} \times \frac{C}{١٠٠} = \frac{S \times C}{٦}$$

∴ $Q = \frac{L \times S \times C}{٦}$ .... متر٣ / دقيقة وحدات فرنسية

وباستخدام الوحدات البريطانية :

Q = معدل تدفق الهواء (قدم مكعب/دقيقة) عند $T = 60°f$, $P = 14.716\ F/in^2$

M = كمية الكربون المحترق (رطل / دقيقة)

L = كمية الهواء المستهلكة لكل باوند (رطل) من الفحم المحترق .

C = كمية الكربون المحترق (رطل لكل ١٠٠ رطل من المعدن المنصهر) .

S = معدل الصهر (طن معدن / ساعة)

وحيث أن : M = كمية الكربون المحترق (كيلو جرام / دقيقة)

$$\therefore M = \frac{٢٢٤٠ \times S}{٦٠} \times \frac{C}{١٠٠}$$

$$\therefore Q = \frac{٢٢٤٠}{٦٠} \times S \times \frac{C}{١٠٠} \times L$$

∴ $Q = ٠.٣٧٣ \times L \times C \times S$ .... قدم٣ / دقيقة وحدات إنجليزية

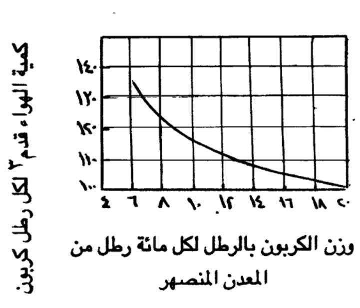
وتعتمد كمية الهواء المستهلكة لكل كيلو جرام كربون على درجة اكتمال الاحتراق ، وأيضاً على العلاقة النسبية بين كمية أول أكسيد الكربون (CO) وثانى أكسيد الكربون (CO_2) الموجودة فى غازات نواتج الفرن .

فإذا احترق كيلو جرام واحد من الكربون إلى CO_2 بالكامل فإنه يحتاج إلى ٨.٩٣ متر٣

هواء .

وإذا احترق كيلو جرام واحد من الكربون إلى CO بالكامل فإنه يحتاج إلى ٤٧ , ٧ متر^{٣} هواء .

وهذه الكمية الأخيرة تمثل نصف الكمية الأولى . وعلى أية حال فإن الكربون الموجود بالكوك فى أفران الدست لايحترق إلى CO_2 فقط أو إلى CO فقط وإنما يتحول إلى خليط من الاثنين . إن النسبة بين CO : CO_2 فى الغازات وبالتالى كمية الهواء اللازمة لاحتراق الكربون يعتمد على عدة عوامل . والعامل الرئيسى منها هو نسبة الكربون المحترق إلى وزن المعدن المنصهر . والقيم الفعلية لكمية الهواء المطلوبة لاحتراق كيلو جرام واحد من الكربون فى مقابل كمية الكربون المحترق لكل ١٠٠ كيلو جرام من المعدن المنصهر معطاة فى الشكل رقم (١٣) .



شكل رقم (١٣) العلاقة بين كمية الهواء وكمية الكربون ووزن المعدن المنصهر .

استخدام معادلة معدل الصهر Use of Melting Rate Formula

احسب معدل الهواء المطلوب لصهر معدن بمعدل ١٠ طن / ساعة .

المعطيات : شحنة الكوك = ١٥٪ من شحنة الفرن

نسبة الكربون فى الكوك = ٩١٪

نسبة امتصاص المعدن للكربون = ٤ . ٠٪

الحل : الخطوة الأولى هى إيجاد قيمة (C)

حيث (C) = كمية الكربون المحترقة بالكيلو جرام لكل ١٠٠ كيلو جرام حديد منصهر

$$= ١٥ \times \frac{٩١}{١٠٠} - ٠.٤ = ١٣.٢٥$$ كيلو جرام

الخطوة الثانية إيجاد قيمة (L)

إذا كانت قيمة (C) = ٢٥ . ١٣ كجم فمن شكل (١٣) نستنتج أن

قيمة (L) = ١ . ٣ متر مكعب

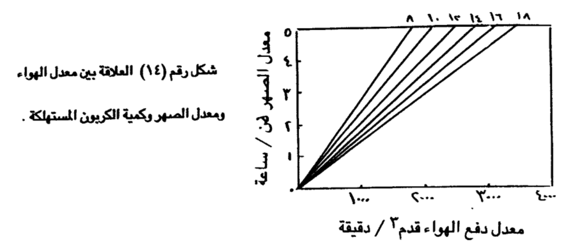
= ١٠٩.٠ قدم مكعب .

الخطوة الثالثة استعمال معادلة معدل الصهر للحصول على قيمة معدل الهواء

$$Q = \frac{L \times S \times C}{٦} = \frac{٦.٨ \times ١٠ \times ١٣.٢٥}{٦} = ١٥٠$$ متر^{٣} / دقيقة

$$Q = ٠.٣٧٣ \times L \times C \times S = ٠.٣٧٣ \times ١٠ \times ١٣.٢٥ \times ١٠٩ = ٥٣٩٠$$ قدم^{٣} / دقيقة

والشكلان رقما (١٤) ، (١٥) يوضحان العلاقة بين معدل تدفق الهواء وكمية الكربون المستخدمة لكل ١٠٠ كيلو جرام من الحديد المنصهر عند معدلات صهر مختلفة أصغر من وأكبر من ٥ طن/ساعة على التوالى .



شكل رقم (١٤) العلاقة بين معدل الهواء ومعدل الصهر وكمية الكربون المستهلكة .

كمية الكربون المحترقة لكل ١٠٠ رطل معدن منصهر

٨ ١٠ ١٢ ١٤ ١٦ ١٨

معدل الصهر طن / ساعة

٣٠ ٢٥ ٢٠ ١٥ ١٠ ٥

٢٠٠٠ ٦٠٠٠ ١٠٠٠٠ ١٤٠٠٠ ١٨٠٠٠

معدل دفع الهواء قدم٣ / دقيقة .

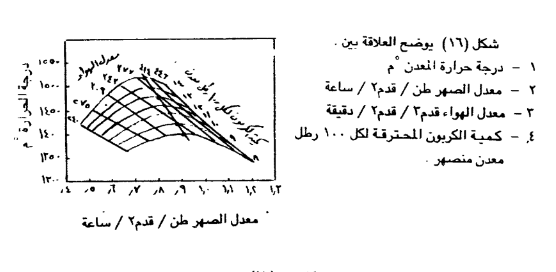
شكل رقم (١٥) العلاقة بين معدل الهواء ومعدل الصهر وكمية الكربون المستهلكة .

درجة حرارة المعدن Metal Temperature

مما سبق يتضح كيف أن معدل الصهر يعتمد على معدل الهواء ونسبة الكوك فى الشحنة (أو على الأصح كمية الكربون المحترقة لكل ١٠٠ كجم معدن منصهر) وعلى أية حال فإنه عند تشغيل الفرن فليس المطلوب إحداث معدل معين لإنصهار المعدن فقط ، وإنما إلى جانب ذلك مطلوب درجة حرارة مناسبة لإنتاج مسبوكات سليمة خالية من العيوب . وهناك علاقة وثيقة تربط هذه العوامل (معدل الهواء ونسبة الكوك فى الشحنة) مع درجة حرارة المعدن .

وعلى وجه العموم ففى أى فرن دست نجد أن العلاقة بين كل من معدل الهواء وشحنة الكوك ومعدل الصهر من ناحية ، ودرجة حرارة المعدن من ناحية أخرى ، يمكن التعبير عنها بما يسمى بسلوك الفرن Cupola Behaviour أو الرسم البيانى الشبكى Net Diagram والرسم الموضح بشكل رقم (١٦) وهو رسم بيانى شبكى لفرن دست ذى قطر داخلى ٧٦ سم ذى هواء بارد ومن هذا الرسم يتضح مايلى :

١- عند استعمال كمية كوك : الخام بنسبة ثابتة (أو على الأصح نسبة الكربون : المعدن) فإن زيادة معدل الهواء يؤدى إلى زيادة كل من معدل الصهر ودرجة حرارة المعدن حتى يصل إلى قيمة حرجة ، بعدها تقل درجة حرارة المعدن كلما زاد معدل تدفق الهواء .



شكل رقم (١٦)

٢- عند استعمال معدل ثابت للهواء : فإن أى زيادة فى شحنة الكوك تؤدى إلى انخفاض معدل الصهر وزيادة درجة حرارة المعدن .

٣- إذا كان الهدف هو زيادة درجة حرارة المعدن مع ثبوت معدل الصهر فإنه يجب زيادة كلا من الكوك ومعدل الهواء معاً .

ومن الواجب ملاحظة أن كل شحنة كوك لها معدل مثالى لتدفق الهواء Optimum ،

حيث يكون عنده أعلى درجة حرارة للمعدن ممكن الحصول عليها . وهذه القيمة المثالية لمعدل الهواء تختلف تبعاً لنسبة الكوك فى الشحنة لكنها تقريباً تتراوح بين ١٠٠-١٢٠ متر مكعب / متر مربع من مساحة مقطع الفرن لكل دقيقة . والمنحنيات عند هذه المنطقة تمثل خطوط مستقيمة .

ولأغراض تصميم الأفران فإننا يمكن أن نعتبر أن معدل الهواء الذى قيمته ١١٥ م٣/م٢ دقيقة هو أدق تقريب للقيمة المثالية لمختلف نسب الكوك فى الشحنة ؛ والرسم البيانى رقم (١٦) يعطى وبدقة الكميات الصحيحة والمحسوسة والتى أمكن الحصول عليها عملياً من الفرن . ولايمكن الاعتماد على هذا الرسم لمعرفة درجة حرارة المعدن عند استعمال أفران دست ذات مقاسات أخرى . حيث إن هذا يعتمد على عدة عوامل تصميمية مثل اتساع القطر الداخلى وعمق الخزنة وارتفاع اسطوانة الفرن وغيرها . كما يعتمد على ظروف التشغيل مثل طبيعة الخامات المشحونة وكمية الكوك ونوعيته .

إن كمية الفحم المستعملة للحصول على درجة الحرارة المطلوبة للمعدن يجب أن تتحدد بناءً على الخبرة السابقة . وعلى أية حال فإن التعرف على الرسم البيانى الشبكى للفرن Diagram Net يعطى مؤشراً سريعاً ومباشراً للاتجاه الذى يجب ان نسلكه للسيطرة على الفرن ، ولتعديل ظروف التشغيل للحصول على درجة الحرارة المطلوبة أو معدل الصهر المطلوب أو كليهما معاً .

التركيب الكيميائى للمعدن Metal Composition

إذا كان مطلوباً الحصول على معدل صهر معين ودرجة حرارة معينة للمعدن فإنه من الضرورى أيضاً الحصول على تركيب كيميائى معين للمعدن . ويتم حساب وتقدير تركيب المعدن الناتج من الفرن عن طريق اختيار الخلطة المناسبة للخامات المشحونة . إن عملية الاشراف على الخامات وانتقائها من أهم عمليات الصهر . وفى هذه المرحلة يجب التأكيد على أن كمية الكربون الملتقط بواسطة الحديد وأن كمية الفقد فى السيليكون والمنجنيز أثناء الصهر كلاهما يعتمد على درجة حرارة المعدن عند فتحة البزل . وعليه فإن السيطرة الدقيقة عليها تؤدى بالتالى إلى الحصول على النوعية المطلوبة للحديد الزهر الناتج .

ضبط وتوجيه عمل الفرن Cupola Control

أصبح من الواضح أن أداء الفرن يتأثر بكل من معدل الهواء ونسبة الكوك فى الشحنة ، والأهم من ذلك ضبط الاشراف على خلطة الشحنة كما سبق ذكره ولضمان الإشراف المناسب على طريقة وأسلوب عمل الفرن فإنه من الضرورى عمل مايلى :

١ - السيطرة التامة وضبط معدل الهواء فى ودنات الصف الواحد فى الأفران ذات الصف الواحد من الودنات . أو فى ودنات الصفين فى الافران ذات الصفين من الودنات .

٢ - السيطرة التامة على عناصر ومكونات الخامات المعدنية فى الشحنة .

٣ - السيطرة التامة والاشراف على نسبة الكوك إلى الخامات المعدنية فى شحنة الفرن .

معدل تدفق الهواء Blast Rate

إن العديد من أفران الدست يتم تزويدها بأجهزة قياس Guage حيث يمكنها تحديد قيمة ضغط الهواء وبناءً على هذه القراءة يتم تعديل وضبط معدل تدفق الهواء تبعاً لذلك . وعلى أية حال فإن قيمة ضغط الهواء فى قميص الهواء ماهو إلا مؤشر فقط لقيمة الضغط المطلوب لدفع حجم معين من الهواء إلى داخل الفرن . وهو فى نفس الوقت لايعطى أى معلومات تتعلق بمقدار الحجم الحقيقى المدفوع فعلاً إلى داخل الفرن . بمعنى أنه يحدد قراءة الضغط ولايحدد الحجم . كما أن العلاقة بين ضغط الهواء وبين معدل تدفق الهواء لاتتغير فقط من فرن إلى فرن ، ولكنها من الممكن أن تتغير بدرجة كبيرة فى الفرن نفسه أثناء ظروف تشغيله المختلفة .

وعلى سبيل المثال فإنه عندما يكون معدل تدفق الهواء ثابتاً فقد يزيد الضغط إذا تكوّن بعض الجلخ فى نهاية الودنات بطريقة سيئة Slag-Over أو إذا كان الفرن ممتلئاً بالشحنة بدرجة أكبر من المعتاد High Packing Density . وفى واقع الأمر فإن زيادة ضغط الهواء فى مثل هذه الحالات يصاحبه نقص فى معدل تدفق الهواء إلى الفرن ؛ لكن عامل الفرن Furnaceman عادة مايقع فى الخطأ ويعتقد أن زيادة ضغط الهواء ناتجة من زيادة معدل الهواء . ولهذا يقوم بغلق محبس الهواء Blast Control Valve بهدف الاحتفاظ بضغط الهواء عند القيمة المطلوبة وبذلك ينخفض معدل الهواء تلقائياً وهذا

التصرف يساعد على توجيه الفرن إلى ظروف أسوأ يصعب السيطرة عليها فيما بعد . وفى المقابل فإن الضغط قد يقل إذا كانت الشحنة منخفضة أو قليلة أو بها فراغات كثيرة (الفرن مَهوِّى) Scaffold أو إذا كوِّنت الشحنة كوبرى Bridge أو إذا كانت درجة امتلاء الفرن بالشحنة قليلة (الفرن هايش Low Packing Density) . ففى هذه الحالات كلها ينخفض الضغط ويصاحبه زيادة فى معدل تدفق الهواء داخل الفرن . وفى هذه الحالة يكون التصرف التلقائى لعامل الفرن هو أن يفتح محبس الهواء ، وبالتالى يزيد معدل الهواء أكثر من ذى قبل ، وبذلك يضر بعملية تشغيل الفرن بدون وعى أو بدون قصد ، وبذلك يبتعد الفرن عن ظروف التشغيل الصحيحة .

إن معدل تدفق الهواء لايمكن مراقبته والتحكم فيه بدون استخدام جهاز لقياس معدل الهواء Air Flow Meter ويعتمد هذا أساساً على استخدام فتحة أو أنبوبة مخصوصة Venturi Tube توضع داخل الماسورة الرئيسية لمروحة الهواء Blast Main أو عند مدخل المروحة Inlet Ducting . وتعتمد قيمة معدل الهواء على الفرق فى قراءات الضغوط Differential Head خلال ماسورة الهواء .

وعادة مايتم تسجيل القراءات على لوحة رسم بيانى يتم معايرتها مخصوص لقياس معدل الهواء ويمكن بواسطة هذا الجهاز إجراء ضبط دقيق لمحبس الهواء ليحتفظ دائماً بمعدل هواء ثابت ومحدد ، وليعطى معدناً بمعدل الصهر المطلوب ودرجة الحرارة المناسبة . إن استخدام مثل هذه الأجهزة بما تشملها من أجهزة تحكم لقادرة على ضبط معدل تدفق الهواء بطريقة أتوماتيكية . وهذه التجهيزات لها شأن عظيم خصوصاً فى الأفران التى تعمل لمدد طويلة Longer Melts والتى تتطلب درجة كبيرة من الإنتاجية وظروف الصهر التى تختلف من يوم إلى يوم . كما أنه يوصى بضرورة استعمالها فى الأفران ذات الصفين من الودنات حيث تساعد على توزيع الهواء بالتساوى بين الصفين .

وزن مكونات الشحنة Weighing

إن أكثر العوامل أهمية والتى تحكم التركيب الكيميائى للمعدن عند فتحة البزل هو التركيب الكيميائى لكل مكون من مكونات الشحنة بالإضافة إلى نسبة هذا المكون إلى إجمالى الشحنة . وللاحتفاظ بدقة تركيب المعدن عند فتحة الفرن The Spout (مجرى الصب) فإنه

من الضرورى القيام بوزن كل مكون على حدة وبدقة . كما يجب استخدام ميزان دقيق يخصص لوزن السبائك الحديدية بحيث تتناسب دقته مع الكميات الموزونة منها .

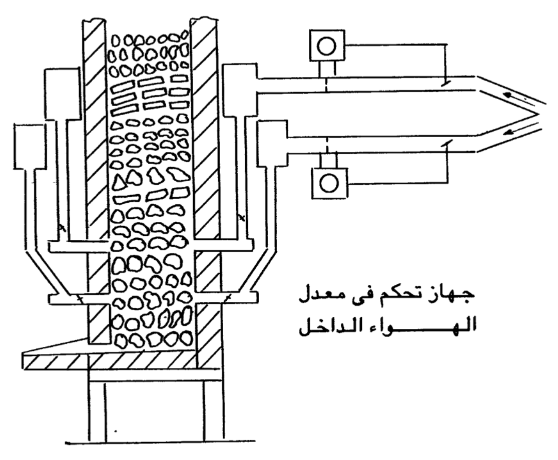
تعتمد كل من درجة حرارة المعدن ومعدل الصهر وتركيب المعدن (فى حدود معينة) على نسبة الكوك إلى الخام فى شحنة الفرن . وعلى أية حال فإنه من المهم التأكيد على ضرورة وزن شحنة الكوك لضمان سلامة تشغيل الأفران .

وأخيراً وحتى فى حالة السيطرة التامة على معدل الهواء وخامات الشحنة فإن تركيب المعدن يمكن أن يتغير عند فتحة البزل ، خصوصاً عند استخدام شحنات تحتوى على نسبة عالية من الصلب أو كميات كبيرة من السبائك الحديدية . إن العنصر الأساسى لضبط التركيب الكيميائى للمعدن هو مدى سعة خزنة المعدن فى الفرن نفسه فى النوع ذى الصب المتقطع بهدف خلط المصهور خلطاً متجانساً ، كما أن التركيب الكيميائى للمعدن يعتمد على مدى سعة الخزان الخارجى Receiver فى حالة الأفران ذات الصب المستمر .

الباب الرابع

ظهور أفران الدست ذات الهواء الموزع (ذات صفى الودنات)

Development of the Divided Blast Cupolas

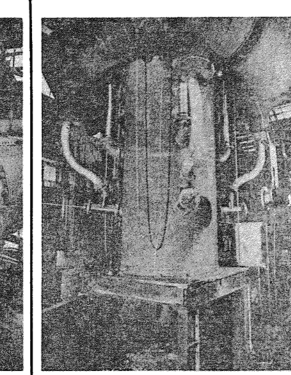


شكل رقم (١٧) (فرن الدست ذات الهواء المقسم أو الموزع)

عملية التطور

بدأ ظهور فرن الدست ذى الصفين من الودنات بعد إجراء بعض البحوث والدراسات على أفران الدست ، والتى أثبتت أن كفاءة الأفران من الممكن أن تتحسن عند إمدادها بصفين من الودنات مع توزيع كمية الهواء عليهما بطريقة متساوية . والشكل رقم (١٧) يوضح فرناً من هذا النوع . وقد تم إجراء هذه الدراسات على فرن قطره الداخلى ٧٦سم حيث تم تزويده بصفين من الودنات وكل صف منهما تم إمداده بكمية معينة من الهواء

محسوبة ومقاسة بدقة . ولهذا السبب كان لابد من وجود قميصين للهواء Two Wind-Belts ولكل قميص منهما ماسورة تصريف هواء مخصوصة Separate Blast Main ومنفصلة عن الأخرى ، ويتم التحكم فى كمية الهواء الداخلة بها بطريقة أتوماتيكية .

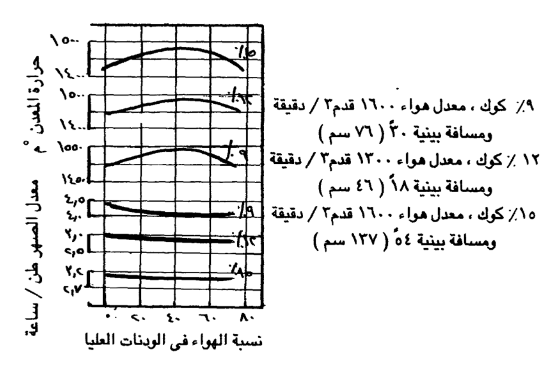


شكل (١٨) منظر لفرن دست يظهر فيه قميص الهواء العلوى وقميص الهواء السفلى ومحابس غلق الهواء الموضوعة على المواسير الخارجة من قميص الهواء العلوى .

شكل (١٩) منظر لفرن دست يوضح الودنات السفلية والعلوية والمواضع المتتالية للودنات العلوية .

والشكل رقم (٢٠) يُوضح نتيجة الاختبارات التى أجريت لحساب ولتحديد أنسب توزيع للهواء على الصفين . ولهذا السبب تم تشغيل الفرن بثلاث طرق مختلفة وفى كل طريقة من هذه الطرق تم زيادة نسبة الهواء المدفوع خلال الصف العلوى من الودنات ، وكانت درجة حرارة المعدن تزيد معها تلقائياً حتى تصل نسبة الهواء المدفوع خلال الصف العلوى إلى نسبة ٥٠٪ من إجمالى هواء المروحة . بعد ذلك فإن أى زيادة فى كمية هواء الصف العلوى

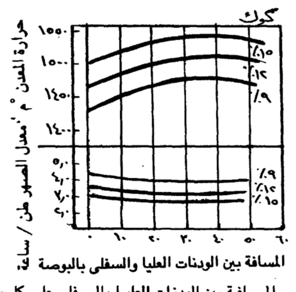
تؤدى إلى انخفاض درجة حرارة المعدن مرة أخرى ومن هذا يتضح أن أفضل النتائج يمكن الحصول عليها عندما تكون كمية الهواء متساوية فى كلا الصفين العلوى والسفلى .



شكل رقم (٢٠) يوضح تأثير توزيع الهواء على صفين من الودنات على كفاءة أداء فرن الدست .

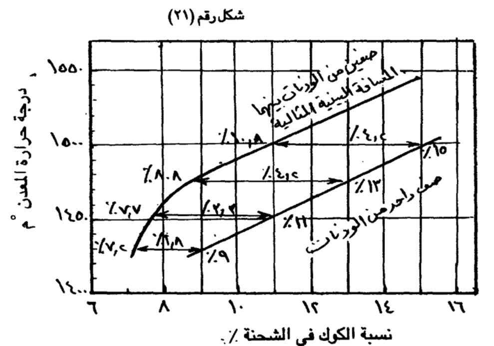
أما شكل (٢١) فيوضح تأثير طول المسافة بين الصف العلوى والصف السفلى على كل من درجة حرارة المعدن ومعدل الصهر عند نسب مختلفة لشحنة الكوك . وقد أجريت تجارب فى هذا الشأن تم فيها تثبيت معدل الهواء عند ٤٥ متر٣ / دقيقة وتم استعمال صفين من الودنات وتم تقسيم الهواء على الصفين بالتساوى وعند كل نسبة من نسب الكوك حيث وجد أن أعلى درجة حرارة للمعدن يمكن الحصول عليها عندما تكون المسافة بين الصفين حوالى متر واحد .

وبالمقارنة مع الأفران ذات الصف الواحد من الودنات نجد أن استعمال صفين من الودنات بينهما مسافة بينية مثالية Optimum Tuyeres Spacing وقدرها متر واحد يؤدى إلى زيادة درجة حرارة المعدن بمقدار ٤٥ – ٥٠°م عند فتحة البزل مع حدوث انخفاض ضئيل جداً فى معدل الصهر .



تأثير المسافة بين الودنات العليا والسفلى على كل من درجة حرارة المعدن ومعدل الصهر عند معدلات مختلفة من شحنات الكوك

شكل رقم (٢١)



نسبة الكوك فى الشحنة ٪

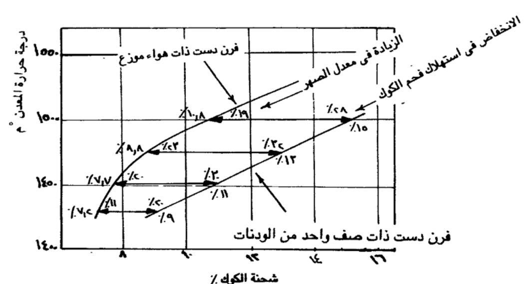
نسبة الوفر فى إستهلاك الكوك عند استعمال صفين من الودنات مع دفع الكميات الصحيحة من هواء الإحتراق .شكل رقم (٢٢)

أما الشكل رقم (٢٢) فإنه يوضح العلاقة بين نسبة الكوك وبين درجة حرارة المعدن فى حالة استعمال صف واحد وصفين اثنين من الودنات (بينهما المسافة المثالية وكمية الهواء مقسمة بالتساوى) وعند تشغيل الفرن باستخدام صف واحد من الودنات فإنه للحصول على معدن ذى درجة حرارة ١٥٠٠°م فإنه يلزم شحن كوك بنسبة ١٥٪ من الشحنة ومعدل الصهر يكون ٣.٠٥ طن / ساعة بينما يكون معدل دفع الهواء ٤٥ متر٣ / دقيقة .

أما فى حالة استعمال صفين من الودنات فإن معدناً درجة حرارته ١٥٠٠°م يمكن الحصول عليه عند شحن كوك بنسبة ١٠.٨٪ فقط بينما يكون معدل الصهر حوالى ٣.٦٣ طن / ساعة عند نفس معدل الهواء وهو ٤٥ متر٣ / دقيقة .

وبناءً على ذلك فإن استعمال صفين من الودنات يمكنه السماح بخفض استهلاك الكوك بنسبة ٢٨٪ وزيادة معدل الصهر بنسبة ١٩٪ للحصول على معدن درجة حرارته ١٥٠٠°م بالمقارنة بتشغيل فرن ذى صف واحد .

وشكل رقم (٢٣) يوضح الوفر الحقيقى فى استهلاك الفحم مع الزيادة الفعلية لمعدل الصهر وعلى سبيل المثال فإن :



الشكل يوضح كيف أن تشغيل فرن الدست باستخدام صفين من الودنات يؤدى الى زيادة درجة حرارة المعدن أو يؤدى إلى انخفاض استهلاك الكوك فى الشحنة كما يؤدى إلى زيادة معدل الصهر .

شكل (٢٣)

شحنة كوك بنسبة ١٣٪ يمكن خفضها إلى نسبة ٨.٨٪ فى الفرن ذى الصفين .

شحنة كوك بنسبة ١١٪ يمكن خفضها إلى نسبة ٧.٧٪ فى الفرن ذى الصفين .

شحنة كوك بنسبة ٩٪ يمكن خفضها إلى نسبة٢.٧٪ فى الفرن ذى الصفين .

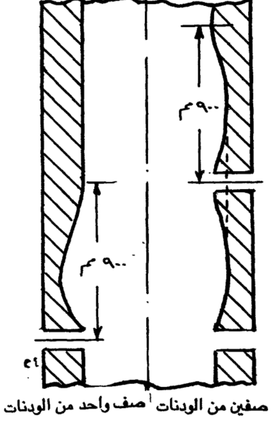
وذلك للاحتفاظ بنفس درجة الحرارة المعتادة بينما يزيد معدل الصهر بالنسب التالية :

٢٣٪ ، ٢٠٪ ، ١١٪ على الترتيب .

أما فى حالة استعمال صفين من الودنات دون تخفيض نسبة الكوك فإن درجة حرارة المعدن تزيد حوالى ٤٥ – ٥٠°م ، كما أن نسبة التقاط المعدن للكربون تزيد حوالى ٢.٠٪ وقد لايحدث تغيير للسيليكون المفقود أثناء الصهر أو قد يحدث تغيير طفيف .

أما فى حالة استعمال الصفين مع تخفيض نسبة الكوك والاحتفاظ بنفس درجة الحرارة دون زيادة ، فإن إلتقاط المعدن للكربون يزيد بنسبة ٠.٠٦٪ Carbon Pick-up فقط . ويزيد الفقد فى السيليكون نتيجة الصهر بنسبة ٠.١٨٪ .

وفى الأفران ذات الصفين نجد أن البطانة الحرارية المتآكلة تمتد أكثر إلى أعلى ولكنها ذات عمق أقل من حالة الصف الواحد . وهذا مؤشر يوضح أن استخدام صفين من الودنات يؤدى إلى اتساع منطقة الصهر (بيت النار) فى فرشة الكوك وهذا يوضح السبب الرئيسى لتحسن الأداء ، حيث يؤدى ذلك



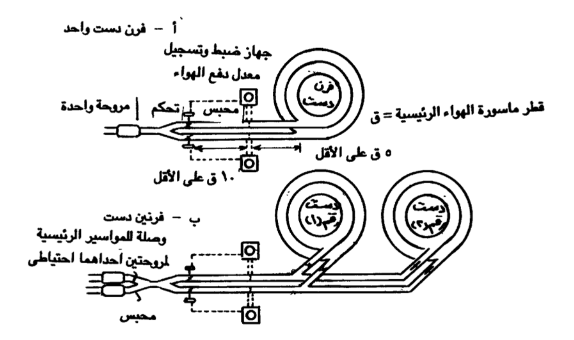
شكل (٢٤) نموذج يوضح معدلات التآكل فى بطانة الفرن عند استعمال صف واحد وصفين من الودنات

إلى ضرورة احتراق أول اكسيد الكربون بواسطة الهواء الذى يدخل من الودنات العلوية . وفى الحقيقة إنه عند فحص الفرن من خلال النظارات الخاصة بالصف العلوى ، يمكنك التأكد من أن عملية الصهر تجرى فوق مستوى الودنات العلوية . وعلى هذا يجب زيادة ارتفاع فرشة الكوك . ففى بداية عملية الصهر وقبل شحن الخامات المعدنية يكون من الضرورى إجراء عملية قياس وضبط لمستوى سطح فرشة الكوك بارتفاع معين فوق مستوى ودنات الصف العلوى . وبما أن الصف العلوى من الودنات يرتفع بمقدار متر واحد عن الصف السفلى ، والذى عادة مايكون هو الصف الأصلى فى الفرن ، لذلك فإن ارتفاع فرشة الكوك الكلية فوق مستوى فتحة البزل سوف يزيد بمقدار متر واحد عند تحويل الفرن من صف واحد إلى صفين اثنين . انظر شكل (٢٤).

التطبيق الصناعى Industrial Application

إن المئات من أفران الدست ذات الصفين من الودنات Divided Blast قد تم تركيبها فى أنحاء العالم والعديد منها أيضاً يجرى تركيبه الآن . وهذه الأفران تتراوح أقطارها الداخلية من ٧٣سم حتى ٢٢٩سم وهى تصهر معدن بمعدلات بين ٥ . ٢ - ٤٠ طن / ساعة وفى الحقيقة أنه من المعتاد استخدام نفس مروحة الهواء القائمة مع تعديل الماسورة الرئيسية وقميص الهواء كما موضح بالشكل رقم (٢٥) . وعموماً فإن تقارير المسابك التى استعملت هذه النوعية من الأفران تؤكد أنه عند تخفيض الكوك فإن هذا التخفيض يتراوح بين ٢٠ - ٣٥٪ . وفى بعض الأحيان يصاحب ذلك زيادة فى درجة حرارة المعدن . بينما إذا تم تشغيل هذه الأفران بدون تخفيض استهلاك الكوك فإن درجة حرارة المعدن تزيد مابين ٤٠ إلى ٨٠°م . على الرغم من أنه فى بعض الحالات تم تغيير فى سمات التصميم والتشغيل صاحبت عملية التحويل إلى أفران ذات صفين مما أدى إلى تحسن الأداء .

إن الزيادة فى درجة التقاط الكربون المصاحبة لارتفاع درجة حرارة المعدن جعلت بعض المسابك قادرة على خفض قيمة التكلفة الكلية لخامات الشحنة . وعلى سبيل المثال فإن أحد المسابك وجد أنه من الممكن إحلال نسبة ١٠٪ من الشحنة بخردة الصلب Steel Scrap بدلاً من تماسيح الزهر Pig Iron مع تخفيض تكلفة شحنة الكوك أيضاً . ومسابك أخرى استغلت ميزة أرتفاع معدل الصهر الذى أصبح ممكناً عند تحويل الفرن .



شكل (٢٥) مخطط يوضح مراوح الهواء ومواسير الهواء الرئيسية
وأجهزة التحكم عند تشغيل أفران ذات هواء موزع .

إن كمية الكوك القابلة للتخفيض هى نفسها قادرة على زيادة معدل الصهر بمقدار ٢٥٪ بدون زيادة معدل الهواء عن المعدل العادى . وقيمة التوفير الإجمالى Over all-Saving التى يمكن الحصول عليها باستعمال هذه النوعية من الأفران والذى يكون مناسباً مع الأفران متوسطة الحجم منها والكبيرة . وهذا الوفر يزيد مع زيادة عدد الصبات . إن الأموال التى تم توفيرها نتيجة تخفيض الفحم معقولة جداً ، مع أنها تقل بدرجة قليلة بسبب زيادة ارتفاع فرشة الكوك ، وبسبب زيادة الفقد فى السيليكون نتيجة الصهر . وفى أحد

المسابك التى تصهر يومياً ٩٦ طناً وعدد ساعات العمل ٨ ساعات كانت التكاليف كما يلى :

١- الوفر فى الكوك المشحون بنسبة من ١٣.١٪ إلى ٨.٩٪ وقيمة طن الفحم حوالى ٦٩ جنيه إسترلينى
= ٤.٠٣ طن / يوم
= ٢٧٨ جنيه لسترلينى / يوم
= ٦٦٧٢٠ جنيه استرلينى / سنة

٢- تكاليف الكوك الزائد فى الفرشة
= ٠.٦٤ طن / يوم
= ٤٤ جنيه استرلينى / يوم
= ١٠٥٦٠ جنيه استرلينى / سنة

٣- تكاليف الفقد الزائد فى السيليكون (٠.٢٪) (قيمة طن الفيروسيليكون ٤٥ - ٥٠٪) حوالى ٢٣٠ جنيه استرلينى / طن
= ٠.١٩٢ طن / يوم
= ٧١ جنيه استرلينى / يوم
= ١٧٠٤٠ جنيه استرلينى / سنة

الوفر فى اليوم الواحد
= ٢٧٨ - (٤٤ + ٧١)
= ١٦٣ جنيه استرلينى

الوفر فى السنة الواحدة = ٣٩١٢٠ جنيه استرلينى

إن تكلفة تحويل هذه الأفران إلى أفران ذات صفين تقدر بحوالى ١٤.٠٠٠ جنيه استرلينى بالإضافة إلى أن هذه العملية لاتتضمن مصاريف دورية كوقود أو أكسجين أو خامات أخرى . وهذا يجعل عملية التحويل مفيدة ومربحة . والجدول رقم (٢) يوضح قيمة الوفر السنوى فى الأفران المختلفة نتيجة الإختلاف فى عدد ساعات العمل ومعدلات الصهر فى الساعة الواحدة .

جدول (٢) الوفر الناتج من تشغيل فرن ذات صفين من الودنات

معدل الصهر طن / ساعة	١٢		٣	
مدة الصهر ساعة	٨	٢	٨	٢
الوفر اليومى (جنيه استرلينى)				
شحنة الكوك	+٢٧٨	+٦٩	+٦٩	+١٧
فرشة الكوك	– ٤٤	– ٤٤	– ١١	– ١١
شحنة السيليكون	– ٧١	–١٨	–١٨	– ٥
صافى الوفر	١٦٣	٧	٤٠	١
الوفر السنوى	٣٩ ١٠٠	١ ٧٠٠	٩ ٦٠٠	٢٤٠

ويكشف هذا الجدول أنه إذا تم تشغيل هذا الفرن (١٢ طن/ ساعة) لمدة ساعتين فقط يومياً بدلاً من ثمانية ساعات ، فإن الوفر السنوى سيتغير من ٣٩١٠٠ جنيه إسترلينى إلى ١٧٠٠ جنيه إسترلينى فقط . ومن جهة أخرى إذا تم خفض معدل الصهر من ١٢ طن / ساعة إلى ٣ طن / ساعة بينما تظل عدد ساعات العمل ٨ ساعات كما هى فإن الوفر سوف ينخفض من ٣٩١٠٠ جنيه استرلينى إلى ٩٦٠٠ جنيه إسترلينى .

والتكلفة المحسوبة فى جدول (٢) تفترض أن الزيادة فى استهلاك السيليكون تقدر بحوالى ٢ . ٠٪ لتعويض زيادة الفقد فى السيليكون مع هذه النوعية من الأفران . وفى واقع الأمر فقد وجد أن هذه النسبة هى أعلى نسبة فقد للسيليكون ، بينما وجد فى العديد من المسابك أنه ليس هناك ضرورة لزيادة السيليكون فى الشحنة . وفى هذه الحالة سوف نجد أن الوفر السنوى الحقيقى سيكون أعلى بكثير مما تم احتسابه فى الجدول السابق .

فرن الدست ذو الهواء الموزع الساخن

Divided Hot Blast Cupola

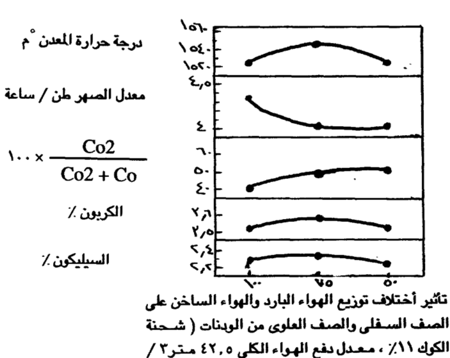
مع تتابع عملية التطوير الناجح لأفران الدست ذات الصفين ، فإن العديد من المسابك كان مهتماً باستخدام الهواء الساخن فى تشغيل هذا الفرن كوسيلة لزيادة معدل الصهر فى الأفران التى وصلت معدلات صهرها إلى الحد الأقصى . ومستقبلاً فإن عملية تحويل

الأفران ذات الهواء الساخن الموجودة حالياً إلى أفران ذات صفين من الودنات ، ستمثل أهم المشاكل الكبرى فى التصميم والإنشاء . والمطلب الأساسى فى عملية تشغيل الأفران ذات الصفين (إذا كان مطلوباً الحصول على نتائج مثالية) هو ضرورة قياس وضبط معدلات تدفق الهواء فى كل صف على حدة . وفى العديد من الأفران الساخنة تكون أجهزة التسخين موضوعة قريبة جداً من الفرن لتسمح للهواء الساخن الخارج منها بالانقسام خلال ماسورتين رئيسيتين منفصلتين .

بالإضافة إلى ذلك فإن سعة كل من الماسورتين الرئيسيتين وقميصى الهواء يجب أن تكون أكبر من السعة المطلوبة فى حالة الهواء البارد Cold Air ويرجع ذلك إلى ضرورة الحاجة إلى عزلها حرارياً Thermal Insulation . لهذا السبب فقد تظهر بعض المشاكل الخاصة بتجهيز ومدى اتساع المكان . بالإضافة إلى أنه لقياس وضبط كميات الهواء المدفوعة فى كل ماسورة فإن أجهزة القياس Measuring Elements ومحابس ضبط الهواء Blast Control Valve يجب وضعها فى جانب تيار الهواء الساخن فى نظام تسخين الهواء .

وفى المصانع التى تعانى مشاكل قياس وضبط معدلات الهواء الساخن ، فقد وجد أنه من الممكن تبسيط هذه العملية وذلك بدفع هواء بارد فى الصف العلوى من الودنات . ولحساب ماإذا كان استخدام الهواء البارد فى الودنات العليا إلى جانب الهواء الساخن فى الودنات السفلى سيؤدى إلى زيادة معدل الصهر أم سيظل كما هو . تم إجراء سلسلة من التجارب والصبات فى الدست .

وشكل (٢٦) يوضح نتائج الدراسات التى أجريت لتحديد أنسب توزيع لكميات الهواء فى كل صف . حيث كان إجمالى معدل الهواء ثابتاً بمقدار ٤٢,٥ متر٣ / دقيقة وكانت نسبة الكوك فى الصبات الثلاثة تمثل ١١٪ من وزن المعدن .



تأثير أختلاف توزيع الهواء البارد والهواء الساخن على الصف السفلى والصف العلوى من الودنات (شحنة الكوك ١١٪ ، معدل دفع الهواء الكلى ٤٢,٥ متر٣ / دقيقة – ١٥٠٠ قدم٣ / دقيقة) .

نسبة الهواء الساخن (٥٠٠°م) فى الودنات السفلى ٪

شكل(٢٦) صفر ٢٥ ٥٠

نسبة الهواء البارد فى الودنات العليا ٪

– فى الصبة الأولى تم دفع كمية الهواء كلها بدرجة حرارة ٥٠٠°م عبر الودنات السفلية .

– فى الصبة الثانية تم دفع كمية هواء مسخن لدرجة حرارة ٥٠٠°م بنسبة ٧٥٪ من إجمالى كمية الهواء عبر الصف السفلى وكمية هواء بارد بنسبة ٢٥٪ خلال الصف العلوى .

– أما الصبة الثالثة فتم توزيع الكمية بالتساوى بين الودنات السفلية (هواء ساخن) والودنات العليا (هواء بارد) .

وقد وجد أنه بتخفيض كمية الهواء الساخن خلال الودنات السفلية بنسبة ٢٥٪ واستبدالها بكمية مساوية لها (٢٥٪) من الهواء البارد فى الصف العلوى (٢٥٪ هواء بارد فقط) فإن درجة حرارة المعدن زادت حوالى ٢٠°م لكن معدل الصهر انخفض من ٤,٣٥ طن / ساعة إلى ٤,٠٢ طن / ساعة ، وقد لوحظ أن زيادة درجة حرارة المعدن كان يصاحبها

زيادة فى محتوى المعدن من الكربون والسيليكون .

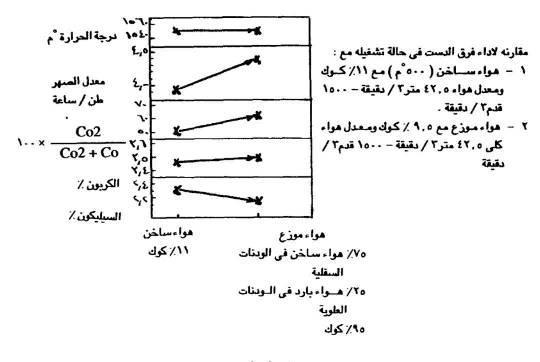
أما فى حالة إمرار هواء ساخن فى الصف السفلى بنسبة ٥٠٪ وهواء بارد فى الصف العلوى بنسبة ٥٠٪ فإن درجة الحرارة تقل ، ولكنها تظل فى نفس المستوى الذى يتم الحصول عليه عند دفع كمية الهواء كلها عند درجة حرارة ٥٠٠°م من خلال الصف السفلى بمفرده ؛ كما انه قد يحدث اختلاف فى معدل الصهر أو نسبة الاحتراق Combustion Ratio . كما أن محتوى السيليكون والكربون يقل قليلاً ليصل تقريباً إلى نفس المستويات التى يتم الحصول عليها عند تشغيل فرن الهواء الساخن العادى .

والنتائج التى تم الحصول عليها من الثلاث صبات أوضحت أن تدفق كمية الهواء الساخن (٥٠٠°م) بنسبة ٧٥٪ من خلال الصف السفلى وتدفق كمية هواء بارد بنسبة ٢٥٪ خلال الصف العلوى ، تؤدى إلى زيادة درجة حرارة المعدن المنصهر بمقدار ٢٠°م تقريباً زيادة على درجة الحرارة التى يمكن الحصول عليها عند إمرار كمية الهواء بالكامل (بدرجة حرارة ٥٠٠°م) خلال الصف السفلى فقط .

وبناءً على ذلك فقد وجد أنه بالإمكان تخفيض شحنة الكوك بنسبة ١.٥٪ من وزن المعدن (أى من نسبة ١١٪ إلى نسبة ٩.٥٪) عند استعمال صفّىْ ودنات مع تقسيم الهواء بنسبة ٧٥٪ هواء ساخن (٥٠٠°م) للصف السفلى ، ٢٥٪ هواء بارد للصف العلوى من أجل الحصول على نفس درجة الحرارة التى تنتج من الفرن العادي ذى الهواء الساخن وصف الودنات الوحيد .

وفى صبة أخرى تم استخدام شحنة فحم بنسبة ١١٪ ومعدل هواء ٤٢.٥ متر٣ / دقيقة ودرجة حرارة الهواء ٥٠٠°م ودفعه إلى الصف السفلى وفى صبة ثالثة كانت نسبة الكوك ٩.٥٪ ومعدل الهواء ٤٢.٥٪ متر٣ / دقيقة مقسمة بنسبة ٧٥٪ للصف السفلى (٥٠٠°م) وبنسبة ٢٥٪ عبر الصف العلوى (هواء بارد) .

وشكل (٢٧) يوضح أن درجة حرارة المعدن الناتج فى كلتا الحالتين كانت متماثلة ، بينما زاد معدل الصهر من ٣.٩٣ طن / ساعة (عند استخدام ١١٪ كوك فى فرن عادى بالهواء الساخن) إلى ٤.٣٨ طن / ساعة (عند استخدام ٩.٥٪ كوك من فرن ذى صفين هواء ساخن) .



شكل(٢٧)

فى صبات الفرن السابق ذى الهواء الساخن كانت كمية الهواء كلها ذات معدل ثابت . وتحت هذه الظروف اتضح أن أقصى درجة حرارة للمعدن عند فتحة البزل يمكن الحصول عليها عند دفع هواء ساخن بنسبة ٧٥٪ خلال الصف السفلى مع دفع هواء بارد بنسبة ٢٥٪ خلال الصف العلوى . كما يمكن زيادة معدل الصهر قليلاً عند تخفيض نسبة الكوك فى الشحنة .

وفى الواقع إذا كان مطلوباً زيادة معدل الصهر فى الأفران التى تعمل بالكامل بالهواء الساخن فإنه يتم استعمال هواء بارد إضافى ، ليس بهدف إحلاله محل جزء من الهواء الساخن ، ولكن بهدف زيادة كمية الهواء الكلية المدفوعة خلال الفرن . هذا وقد تم إجراء تجربة خصيصاً لإقامة الدليل على أن معدل الصهر يمكن زيادته بهذه الطريقة . وقد كانت ظروف التجربة متطابقة لتلك الظروف التى تستعمل فى الأفران العادية ذات الهواء

الساخن ، فيما عدا إضافة كمية من الهواء البارد تمثل ٢٥٪ من إجمالى الكمية وتم دفعها إلى الصف العلوى .

وكانت النتائج كالتالى :

١- زيادة معدل الصهر بنسبة ٢٢٪ من معدل ٤,٣٥ إلى ٥,٣٠ طن / ساعة .

٢- زيادة درجة حرارة المعدن عند فتحة البزل من ١٥٢٥ إلى ١٥٦٥°م بزيادة قدرها ٤٠°م .

٣- زيادة كفاءة الاحتراق Compustion Efficiency وزيادة درجة حرارة غازات الفرن.

٤- عدم تغيير التركيب الكيميائى للمعدن فيما عدا زيادة طفيفة لنسبة السيليكون فى المعدن .

إذن فى حالة الأفران ذات الهواء البارد وذات الصفين من الودنات وجد أنه أفضل ظروف تشغيل هى التى يتم فيها توزيع الهواء بالتساوى بنسبة ٥٠٪ ، ٥٠٪ من إجمالى الكمية .

أما فى الأفران ذات الهواء الساخن فإن كمية الهواء الساخن الذى يتم دفعه خلال الصف السفلى يقل بمقدار الربع ليحل محله هواء بارد يتم دفعه خلالالصف العلوى . وبالتالى فإن المحتوى الحرارى Heat Content فى الهواء المدفوع يصبح أقل . وبالتالى فإن التحسن فى الأداء فى هذه الحالة لن يكون كبيراً ، مثلما فى حالة استخدام هواء بارد أو مثل ذلك التحسن الذى يمكن توقعه فى حالة ما إذا كان الهواء الساخن مستخدماً فى كلا الصفين العلوى والسفلى .

إن العديد من المسابك فى بريطانيا قامت بتحويل أفران الدست الساخنة إلى أفران ذات صفين ، وذلك بإدخال هواء بارد فقط خلال الصف العلوى ، وعلى الرغم مما يؤدى ذلك إلى خفض استهلاك الكوك إلا أن الاستفادة الأعظم بسبب عملية التحويل هى الزيادة فى معدلات الصهر .

وفى الوقت الحاضر تم انشاء فرن دست ذات هواء ساخن يتم دفعه فى كلا الصفين العلوى والسفلى ، والفرن تم إنشاؤه فى مسبك دالتون بالولايات المتحدة ، ويتم تسخين الهواء

الداخل للفرن حتى درجة ٤٥٠ – ٥٠٠°م وأفضل ظروف التشغيل هى التى يتم فيها تقسيم الهواء بنسبة ٧٥٪ للصف السفلى ، ٢٥٪ للصف العلوى وقد تم تخفيض استهلاك فحم الكوك بنسبة ٢٢٪ بدون حدوث انخفاض فى درجة حرارة المعدن عند فتحة البزل . كما أن معدل الصهر زاد من ٢٦ طن / ساعة إلى ٣٦ طن / ساعة .

الباب الخامس

تقنيات تشغيل أفران الدست الخاصة والمعدلة

Modified and Special Cupola Operation Techniques

يتناول هذا الباب أساليب تشغيل أفران الدست الخاصة والمعدلة على النحو التالى :

١ - تشغيل أفران الدست القاعدية .

٢ - استخدام المياه فى تبريد الأفران .

٣ - استخدام الهواء الساخن فى تشغيل الأفران .

٤ - استخدام الوقود الإضافى فى أفران الدست .

٥ - أفران الدست التى تعمل بدون استعمال الكوك (كوكلس) .

٦ - استعمال كربيد الكالسيوم فى أفران الدست .

١ - أفران الدست القاعدية Basic Cupola Operation

من العوامل التى تحد من استخدام أفران الدست ذات البطانة الحامضية فى الصهر هو عدم إمكانية تخفيض نسبة الكبريت فى المعدن Sulpher Content أثناء عملية الصهر حيث إن المعدن دائماً مايمتص الكبريت من فحم الكوك . ولجعل عملية إنتاج زهر يحتوى على نسبة منخفضة من الكبريت من العمليات الممكنة فإنه من الضرورى جعل الخبث قاعدياً ومحتوياً على نسبة عالية من (الجير : السيليكا) وهذا الشرط يتعارض مع استعمال طوب حرارى حامضى فى تبطين الفرن . فعند تشغيل الفرن مع استخدام خبث قاعدى يتم تبطين الفرن باستخدام طوب ماجنزيت Magnesite أو دولوميت Dolomite أو طوب حرارى كربونى Carbon Refractories .

إن استعمال بطانة قاعدية فى الفرن يخلق عدداً من الصعوبات من أهمها المعدل العالى لتآكل هذه الحراريات ، بالإضافة إلى ارتفاع ثمنها إلى جانب مشاكل أخرى عديدة تعوق إجراء عمليات الترميم والإصلاح . وعموماً لحل هذه المشاكل مجتمعة فإنه يفضل

استخدام المياه فى تبريد منطقة الصهر والتى قد تكون غير مبطنة بالكامل أو مبطنة ببطانة حرارية رفيعه والتى تتماسك فى هذا الوقت ضد تأثير الخبث بسبب فعل مياه التبريد .

ويصبح الخبث قاعدياً إذا زادت نسبة كلاً من الجير Lime (CaO) والماجنزيا (MgO) على نسبة كلاً من السيليكا (SIO_2) والالومينا (AL_2O_3) ويتم تحديد درجة قاعدية الخبث Basicity حسب المعادلة التالية :

$$\text{درجة القاعدية Basicity} = \frac{Ca\,O\% + Mg\,O\%}{Si\,O_2\% + AL_2\,O_3\%}$$

ويقسم الخبث حسب درجة القاعدية إلى ثلاثة أقسام ، هى :

١ – النوع الأول : قاعدية معتدلة Mild Basicity إذا كان ناتج المعادلة من ١ – ٢ .

٢ – النوع الثانى قاعدية متوسطة Moderate Basicity إذا كان ناتج المعادلة من ٢ – ٣ .

٣ – النوع الثالث : قاعدية عالية High basicity إذا كان ناتج المعادلة ٣ .

والنوع الأخير ذو القاعدية العالية هو الذى يعطى زهراً ذا محتوى كربونى عالى ، ونسبة كبريت منخفضة وفقد عالى فى السيليكون والعكس بالعكس فى حالة الخبث المعتدل القاعدية . والمواد التى تضاف إلى الأفران القاعدية لتساعد على تكوين الخبث Flux تشمل كلاً من الحجر الجيرى Lime Stone والدولوميت والحجر الجيرى الدولوميتى والفلوروسبار Floursparوإضافة الفلوروسبار بنسبة تتراوح بين ٠.٥ ٪ إلى ٣.٥ ٪ تضمن سيولة ممتازة للخبث . والحجر الجيرى الزائد الموجود بالخبث القاعدى يجعل عملية إزالة الكبريت Desul-phurization تسير تبعاً للمعادلة :

$$C + Ca\,O + Fe\,S \longrightarrow Ca\,S + Fe + CO$$

إن استخدام طريقة الصهر القاعدية تهدف أساساً للحصول على ، حديد زهر ذى محتوى عال من الكربون High Carbon ونسبة منخفضة من الكبريت Low Sulpher Content وهذه هى نفسها الخواص المطلوبة لإنتاج الحديد الزهر الكروى Nodular (SG) Iron . إن المصانع التى تقوم بإنتاج هذا النوع من الزهر هى نفسها التى تقوم بإنتاج أنواع أخرى من الزهر باستعمال نسبة عالية من خردة الصلب Steel Scrap والمصبات

الزهر وتماسيح الزهر المحسن .

إن عملية الصهر القاعدية تلقى قبولاً فى الحالات التى تتطلب درجة معتدلة من القاعدية وذلك لتقليل نسبة الكبريت فى مدى بسيط . وعلى سبيل المثال فى المسابك التى تنتج مسبوكات خفيفة من حديد الزهر الفوسفورى . وفى هذه الأحوال فإن استعمال أفران دست مبردة بالمياه مع وجود خبث معتدل القاعدية Mild يسمح باستعمال شحنات تحتوى على خردة زهر بنسبة ١٠٠٪ كما يسمح بالحصول على نسب الكربون والكبريت داخل المواصفات المطلوبة .

وكما أن استعمال الخبث القاعدى له مزايا فإنه له أيضاً بعض العيوب مثلاً :

١- الفقد فى السيليكون فى حالة الخبث القاعدى أعلى منه فى حالة الخبث الحامضى Acid Slag وكلما زادت درجة قاعدية الخبث كلما زاد الفقد فى السيليكون بالتالى ، والمعادلة التالية تعبر عن كيفية حدوث أكسدة السيليكون :

$$Si(m) + 2FeO_{(s)} \rightleftharpoons SiO_{2(s)} + 2Fe_{(m)}$$

وفى حالة استعمال الخبث الحامضى فإن هذا التفاعل لايمكن أن يستمر طويلاً ، ويرجع هذا إلى ارتفاع نسبة السيليكا فى الخبث الحامضى ، وهذا يوضح السبب فى انخفاض كمية الفقد فى السيليكون .

٢ - التكاليف العالية للحراريات خصوصاً فى حالة بناء أفران الدست .

٣ - التكاليف العالية للمواد (مساعدات الصهر) Fluxing Materials .

٤ - عملية ضبط تحليل المعدن تكون أصعب فى هذه الحالة . حيث إن عملية إنتاج مسبوكات هندسية على درجة عالية نسبياً من الدقة تكون هى المطلوبة . وهذه الحالة تتطلب توافر أجهزة خلط مساعدة لضبط تركيبة الشحنات المختلفة . وفى واقع الأمر إن هذا يعنى أن المعدن قد يتم صبه من فرن الدست إلى خزان ساخن ويفضل أن يكون الخزان من النوع ذى التسخين الكهربى الحثى Electric Induction Type .

٢ - استخدام المياه فى تبريد الأفران Water Cooling

يتم استخدام المياه لتبريد الأفران أساساً كطريقة لتقليل استهلاك المواد الحرارية

فى منطقة الصهر ، ويتم اختيار هذه الطريقة تبعاً للأسباب التالية :

١ – زيادة فترة تشغيل الفرن Extention of Duration .

٢ – لتقليل عدد العمال والوقت اللازمين لترميم الفرن Reduce Labour & Time .

٣ – لتقليل استهلاك مواد التبطين الحرارية الغالية الثمن خصوصاً الحراريات القاعدية .

٤ – لجعل القطر الداخلى للفرن قابل للزيادة وذلك بتخفيض سمك البطانة أو إزالة البطانة بالكامل فى منطقة الصهر . وعلى هذا يمكن الحصول على معدل صهر أعلى.

وتنقسم طرق التبريد بالمياه إلى نوعين Two Categories ، وهما :

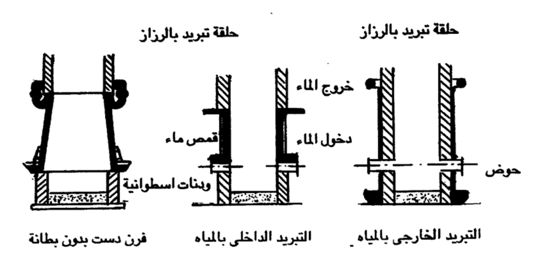
١ – التبريد الداخلى Internal Type .

٢ – التبريد الخارجى External Type .

وفى النوع الداخلى تجرى مياه التبريد بصورة مستمرة ودورية خلال عدد من الأغلفة Jackets أو المصارف banks المصنوعة من المواسير الصلب والموضوعة خلال بطانة الفرن فى منطقة الصهر .

أما التبريد الخارجى فيتم إجراؤه عن طريق تغطية السطح الخارجى لصاج الفرن بطبقة رقيقة من المياه Sheet of Water . وعادة مايتم استعمال طريقة رش المياه بواسطة رشاشات Sprayers مخصوصة والشكل رقم (٢٨) يوضح الطرق المختلفة المستخدمة فى تبريد الأفران بالمياه . حيث يستخدم رشاش المياه فى تبريد صاج الفرن والبطانة الحرارية ذات السمك المعتاد .

وهذه الطريقة عادة ماتستخدم كإجراء وقائى أو احتياطى ، فى حالة البطانة التى يحدث لها إحمرار خلف صاج الفرن . وهذه الطريقة دائماً ماتستعمل حينما يكون مطلوباً زيادة فترة تشغيل الفرن أو عندما يكون من الضرورى تخفيض سمك البطانة بهدف زيادة معدل الصهر عن المعدل العادى . وفى كل هذه الظروف يجب منع احمرار صاج الفرن أو البطانة التى خلفه . ان استخدام طريقة التبريد بالمياه فى وجود بطانة كاملة للفرن لاتؤثر على درجة حرارة المعدن بالمرة . بينما يكون العيب الواضح والأكيد لاستخدام طريقة التبريد الكامل بالمياه Full Water-Cooling (حيث يكون الفرن ذا بطانة ضعيفة أو بدون بطانة



شكل (٢٨) الطرق المختلفة لتبريد أفران الدست بالمياه .

على الإطلاق) هو انخفاض درجة حرارة المعدن ، وبالتالى إرتفاع معدل استهلاك فحم الكوك للحصول على درجة الحرارة المطلوبة . ويتزايد تأثير هذا التبريد بدرجة خطيرة كلما صغر قطر فرن الدست . ولهذا السبب فإنه ينصح عموماً باستخدام نظام التبريد الكامل بالمياه لأفران الدست التى يزيد قطرها الداخلى عن متر واحد خصوصاً إذا كان مطلوباً الحصول على درجة حرارية عالية للمعدن المصهور .

وتظهر بعض المشكلات الإضافية عند استخدام مياه التبريد خصوصاً فى الأفران التى تعمل بدون بطانة حيث تتكون حلقة Ring من المعدن المنصهر جزئياً مع الجلخ ؛ والتى تكون بصفة عامة موجودة فوق منطقة الصهر بالفرن وعند المنطقة التى يتم تبريدها بشدة أو عند المنطقة التى فيها خزان مياه التبريد . ويرجع السبب فى تكوين هذه الحلقة إلى أن بعضاً من الهواء المتصاعد لايتفاعل مباشرة مع فحم الكوك ، ولكنه يرتفع ماراً بالسطح البارد نسبياً من منطقة الصهر . وهذه المنطقة يمكن أن يمر بها الهواء بسرعة أكبر بسبب انخفاض المقاومة Low Resistnce . وفوق منطقة المبرد Cooler مباشرة ، وحيث توجد بطانة حرارية فى بئر الفرن (الأسطوانة Shaft) تبدأ درجة حرارة الهواء فى الارتفاع بدرجة كافية لإشعال الفحم وإحداث عملية صهر لبعض الخامات . وهذه الحلقة تكون صعبة الإزالة .

وفى أسوأ الظروف يمكن لهذه الخلقة أن تستمر فى التكوين والزيادة حتى تؤدى إلى

اختناق الفرن فى هذه المنطقة ، وتؤثر على عملية تشغيل الفرن بدرجة خطيرة . والصعوبات التى تنشأ عن هذه الحلقة يتم التغلب عليها بدرجة كبيرة وذلك بتركيب ودنات لتوزيع مياه التبريد مع استخدام هواء ذا سرعة عالية ، وفى أحيان أخرى يتم تصنيع صاج الفرن على شكل مخروط بهدف تبريده بالمياه .

وحيث إن مزايا نظام التبريد بالمياه تكون أكثر إقتصادية عند استخدام الحراريات الحامضية وفى تخفيض تكلفة وأجور عمال ترميم الفرن . ومن المحتمل أن يتساوى هذا الوفر نسبياً مع التكاليف المرتفعة لمعدات وأجهزة التبريد ومع تكاليف ومصاريف الصيانة الإضافية وأيضاً مع المصاريف الإضافية المحتملة لزيادة استهلاك الفحم لتتعادل مع ولتعويض الفقد الحرارى الناتج عن استخدام المياه .

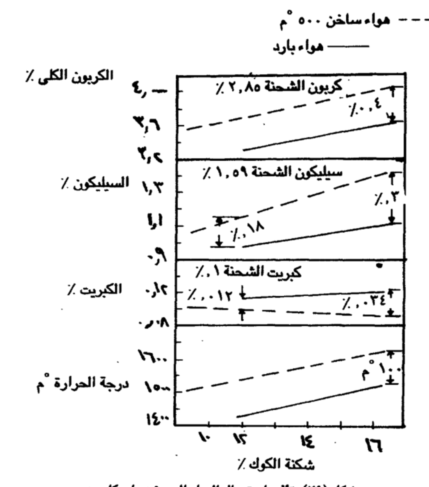
ولهذه الأسباب مجتمعة فإنه ليس من المعتاد ، وعموماً لاينصح باستعمال مياه لتبريد الأفران التى تعمل لفترات قصيرة لاتزيد عن ٨ ساعات ، ماعدا فى الأفران التى تعمل باستخدام خبث قاعدى ، حيث إن الاعتبارات الميتالورجية تتفوق وتطغى على تأثير كل من اقتصاديات الوقود والكفاءة الحرارية . وحتى فى فترات التشغيل الطويلة ، وخاصة عندما يكون مطلوباً الحصول على درجة حرارة مرتفعة للمعدن فإن عمليات التشغيل بدون استخدام بطانة Liningless لايكون مرغوباً فيها فى ظروف التشغيل الحامضى Acid ويفضل استخدام تبريد بالمياه على صاج الفرن أو تركيب مبردات داخلية Internal Coolers مع استعمال البطانة العادية فى بداية السطح المبرد . وتعتبر عملية التبريد بالمياه كإجراء وقائى (تحفظى) فقط فى حالة احمرار البطانة خلف الصاج .

٣- استخدام الهواء الساخن فى تشغيل أفران الدست

Hot Blast Operation

عند استخدام هواء سبق تسخينه فى تشغيل فرن الدست فإنه حينئذ تظهر بعض المزايا . وشكل رقم (٢٩) يوضح تأثير الهواء المسخن على درجة حرارة المعدن وعلى تركيبه عند صهر مجموعة خامات ؛ ويوضح نتائج الدراسات التى أجريت على أفران الدست فى بكيرا BCIRA .

فى حالة استخدام كمية معينة من فحم الكوك مع استخدام هواء ساخن لدرجة حرارة



شكل (٢٩) تأثير استعمال الهواء السهخن على كل من درجة الحرارة وتركيب المعدن

٥٢٠ °م فإن درجة حرارة المعدن تزداد بمقدار ١٠٠ °م ، وتزداد نسبة الكربون Carbon Cintent بمقدار ٠,٤ ٪ كما تزداد نسبة السيليكون فى المعدن ، بينما تنخفض نسبة الكبريت المكتسب . وعند تشغيل فرن الدست باستخدام هواء بارد يتم استخدام شحنة كوك بنسبة ١٦٪ للحصول على درجة حرارة ١٥٢٠ °م ، أما عندما نستخدم هواء ساخن لدرجة حرارة ٥٢٠ °م فإننا يمكننا الحصول على معدن بنفس درجة الحرارة ١٥٢٠ °م مع استعمال شحنة كوك بنسبة ١٠,٧ ٪ فقط . والأكثر أهمية من ذلك أنه إذا ظلت شحنة الكوك كما هى مستعملة فى الأفران ذات الهواء البارد بدون تغيير فإن تأثير تسخين الهواء على زيادة نسبة الكربون المكتسب Carbon Pick-up يجعل من الممكن استبدال الحديد الزهر واستخدام

خردة صلب Steel Scrap بدلاً منه فى شحنة الفرن . بالإضافة إلى ذلك فإن انخفاض نسبة الكبريت فى المعدن يجعل من الممكن استخدام نسبة أعلى من خردة الحديد الزهر Cast Iron Scrap . ومن المزايا العديدة لاستخدام الهواء الساخن مايلى :

١ – تخفيض استهلاك الكوك .

٢ – زيادة درجة حرارة المعدن .

٣ – زيادة معدل الصهر .

٤ – تخفيض نسبة الكبريت المكتسب .

٥ – تخفيض الفقد أثناء الصهر .

٦ – زيادة نسبة الكربون المكتسب وبالتالى زيادة إمكانية إحلال خردة الصلب محل تماسيح الزهر .

ومن الجدير بالملاحظة أنه ليس من الممكن الحصول على جميع هذه المزايا فى وقت واحد . وعلى سبيل المثال فإنه عند استخدام نسبة أعلى من خردة الصلب ، فإن ذلك يتطلب زيادة نسبة الكوك ليدخل فى عملية الكربنة وهذا بالتالى يصاحبه انخفاض فى معدل الصهر وزيادة فى اكتساب الكبريت من الكوك .

وتتم عملية تسخين الهواء إما باستخدام مسترجع حرارى Recuperator ، حيث يستخلص الحرارة من عادم الغازات الخارجة من الفرن Wast Gases وإما بواسطة سخان مستقل يعمل بالغاز أو الوقود البترولى . وفى معظم الأفران التى تعمل بالهواء الساخن يتم تسخين الهواء لدرجة حرارة ٥٠٠°م ، وتتقلص المزايا الاقتصادية عند استخدام هواء تزيد درجة حرارته عن ٥٠٠°م ، فى حين نجد أن المسترجعات الحرارية المستخدمة فى درجة حرارة أعلى تصبح أكثر تكلفة وغير مناسبة . إن التكاليف الرئيسية فى نظام الأجهزة المتكاملة لاسترجاع حرارة الغازات من مدخنة الفرن تعتبر أكثر تكلفة من مصاريف استخدام سخان مستقل يعمل باللهب . ومن الممكن تفضيل المسترجع فقط فى حالة ماإذا كانت إنتاجية الفرن عالية ولاتقل عن ١٥٠ طن / أسبوع . وقد أثبتت التجارب أنه عند استخدام سخان هواء مستقل فإن متطلبات الصيانة الدورية تكون قليلة ، ويحتاج إلى نطاقة

دورية أقل من المطلوبة فى حالة المسترجع الحرارى .

وفى حالة نظام الاسترجاع المتكامل تكون عملية الصيانة الشاملة أكبر وتعتبر أساسية لتشغيل النظام بصورة مرضية . والسخان المستقل يجعل من الممكن الحصول على درجة حرارة ثابتة لهواء وأكثر استقراراً من استخدام المسترجع الحرارى ، ويكون لهذا تأثير هام جداً على طريقة الإشراف والسيطرة على النواحى الفنية وعلى جودة الحديد المنتج . وفى مقابل مزايا السخان الحرارى المستقل يجب أن يوضع فى الاعتبار المصاريف الزيادة فى استعمال الوقود .

إن المصاريف الأساسية فى أفران الدست ذات الهواء الساخن تكون أكبر بدرجات متفاوتة من أفران الدست ذات الهواء البارد ، ويرجع ذلك لتكلفة وحدة الاسترجاع الحرارى أو السخان المستقل وإلى الحاجة إلى تركيب وحدة أكثر تكلفة ، بهدف تنقية الغازات الخارجة من الفرن . وليس من المحتمل أن يتم تعويض قيمة التكاليف الأساسية لوحدة الهواء الساخن على حساب قيمة الوفر فى استهلاك الفحم الكوك وحده . لكن يمكن أن تكون العملية ناجحة اقتصادياً إذا أخذ فى الاعتبار احتمالية زيادة نسبة خردة الصلب أو خردة الزهر فى الشحنة . وفى هذه الظروف من المحتمل أن تقل أو تنعدم الفائدة الاقتصادية الناتجة عن استهلاك الفحم .

٤ - استخدام الوقود الإضافى فى أفران الدست

Supplementary Fuels in the Cupola

تجارب عامة :

تم استخدام أفران عديدة لعدة سنوات فى روسيا وأوربا الشرقية تعمل بواسطة الغاز الطبيعى ليحل محل فحم الكوك بصورة جزئية . وعلى الرغم من انتقال هذا النظام إلى دول أخرى إلا أنه لم يلق انتشاراً واسعاً خارج أوروبا الشرقية . وفى أفران الدست التى تعمل بالغاز والكوك معاً يتم إشعال الغاز بواسطة الهواء فى غرف اشتعال متصلة بالفرن ، وتدخل نواتج الاحتراق إلى الفرن على عدة ارتفاعات مختلفة ، وعادة تتراوح بين متر ومترين فوق مستوى الودنات . وفى خلال الخمس سنوات الماضية تم تحويل ستة من أفران الدست إلى نظام الغاز والكوك ونتائج تشغيل ثلاثة أفران منها موضحة بجدول (٣) .

جدول (٣)

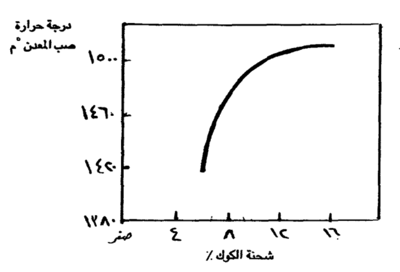
التشغيل بالكوك فقط					التشغيل بالكوك والغاز				
رقم الفرن	قطر الفرن مم	نسبة الكوك ٪	كوك جرام . جول / طن	معدل الصهر طن / ساعة	نسبة الكوك ٪	كوك جرام . جول / طن	غـاز جرام . جول / طن	الاجمالى جرام . جول / طن	معدل الصهر طن / ساعة
١	٦١٠	١٢,٩	٣,٩٠	١,٨٣	٧,١	٢,١٤	١,٢٤	٣,٣٨	٢,٣٨
٢	٧٦٠	١٠,٤	٣,١٤	٣,٣٠	٥,٥	١,٦٦	١,٠٤	٢,٧٠	٤,٠
٣	٩١٤	١٢,٥	٣,٧٨	٥,٥٩	٧,٥	٢,٢٧	١,١٤	٣,٤١	٧,٠

وفى المسابك الثلاثة كان الدخل الحرارى Thermal Input لكل طن منتج من الحديد الزهر أقل من المعدل العادى . وحيث إن سعر الغاز أقل نسبياً من سعر الكوك ؛ وبناءً على ذلك حدث توفير ملحوظ فى تكاليف الوقود بصورة عامة . وفى نفس الوقت فإن هذه الأفران التى حدث فيها توفير فى تكاليف الوقود ، لوحظ أن درجة حرارة المعدن الخارج من فتحة البزل انخفضت بصورة نسبية ، وأصبحت تتراوح بين ١٣٨٠ - ١٤٢٠°م .

الأبحاث فى ألمانيا :

وقد أجريت فى ألمانيا بحوث على فرن دست قطره الداخلى ٨٠ سم ومـزود بأربع وبنات للهواء بالإضافة إلى ستة ولاعات للغاز . وتم إجراء التجارب على تشغيل الأفران بالطريقة المعتادة مع استعمال شحنة كوك بنسبة ١٥٪ فى التجربة الأولى . أما من التجارب التالية فقد تم خفض كمية الفحم وزيادة الغاز ، بحيث تتساوى القيمة الحرارية لكمية الفحم والغاز فى التجارب التالية مع القيمة الحرارية لشحنة الفحم فى التجربة الأولى Equivalent Thermally فى ظروف التشغيل العادية .

ونتائج هذه التجارب موضحة فى شكل (٣٠) وتبين أنه كلما زاد إحلال كمية من الغاز مكان الفحم الكوك (مع تساوى القيمة الحرارية الإجمالية) فإنه مع زيادة كمية الغاز تقل درجة حرارة المعدن عند فتحة البزل بصورة بسيطة حتى تصل نسبة الكوك إلى ٩٪ أما تحت هذه النسبة فإن انخفاض درجة حرارة المعدن يصبح سريعاً جداً .



شكل(٣٠)
العلاقة بين درجة حرارة صب المعدن وبين نسبة الكوك فى الشحنة عند استخدام غاز إضافى .

ويمكن إجمال النتائج التى تم الحصول عليها فيما يلى :

١- إذا كانت درجة حرارة المعدن ١٤٨٠°م تعتبر درجة كافية ومناسبة وناتجة من شحنة الكوك بنسبة ١٥٪ ، يمكن خفضها بنسبة ٤٠٪ لتصل إلى شحنة كوك بنسبة ٩٪ من إجمالى الشحنة ، وذلك ليحل محلها الغاز الطبيعى بدون حدوث انخفاض لدرجة حرارة المعدن المطلوبة .

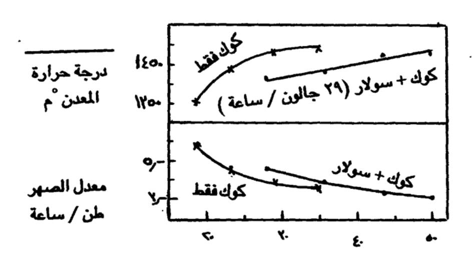
٢- إن الدخل الحرارى للغاز الطبيعى يكافئ حوالى ١,٩٦ جرام . جول / طن .

٣- إن نسبة الكوك تنخفض من ٦,٣٪ إلى ٤,٣ - ٥,٣٪ وتنخفض نسبة السيليكون من ١,٨٣٪ إلى ١,٧٥٪ كما تنخفض نسبة الكبريت بنسبة حوالى ٠,٠١٣٪ ، وذلك عند استخدام كوك بنسبة ٩٪ بدلاً من ١٥٪ بالإضافة إلى استخدام الغاز الطبيعى .

وقد تطابقت النتائج فى جميع التجارب التى تم إجراؤها فى بريطانيا . أما فى الأفران التى تستهلك نسب منخفضة من الكوك بنسبة من ٥,٥٪ إلى ٧,٥٪ فإن الانخفاض فى درجة حرارة المعدن يكون أكبر ، وذلك بالمقارنة بنتائج التجارب التى جرت على الأفران الألمانية وقد اتضح ان استهلاك الغاز فى الأفران الإنجليزية الثلاثة كان أقل مما هو مسجل فى التجارب الألمانية .

تشغيل أفران الدست باستخدام المازوت فى بكيرا BCIRA

أجريت بعض التجارب على فرن دست قطره ٧٦٠مم وذلك لإختبار مدى إمكانية استخدام وقود إضافى فى الأفران . وقد أجريت التجارب باستخدام كوك بنسب تتراوح بين ٦٪ ، ١٢٪ من وزن شحنة الخام مرة باستخدام المازوت ومرة بدون استخدامه . وكان معدل احتراق المازوت حوالى ١٣٢ لتر / ساعة (٢٩ جالون / ساعة) وكان معدل الهواء الكلى ثابتاً وهو حوالى ٤٢,٨ متر / دقيقة (طبقاً للظروف القياسية للضغط ودرجة الحرارة) وفى الحالة التى تم فيها استخدام كوك بنسبة ٦٪ أدى استخدام المازوت إلى زيادة درجة الحرارة ولكن عند استخدام كوك بنسبة ٨٪ أو نسبة أكبر منها مع تقليل المازوت فإن درجة الحرارة تقل . وعلى أية حال فإن استخدام المازوت مع كوك بنسبة ٦٪ كان يؤدى ذلك إلى انخفاض نسبى لدرجة الحرارة لتصل إلى ١٤١٥°م وكان استهلاك الوقود يعادل حوالى ١,٠٥ جرام . چول / طن . ولهذا فإن عملية تشغيل الدست باستخدام المازوت كانت تتشابه فى نتيجتها مع الأفران الثلاثة التى تعمل بالغاز الطبيعى والكوك والتى سبق الحديث عنها . وفى حدود التجارب التى أجريت فى بكيرا لاستخدام المازوت فى أفران الدست فإنه ليس من الواضح ماهى حدود كمية الفحم الكوك التى يمكن خفضها فى هذه الأفران دون حدوث انخفاض فى درجة حرارة المعدن .



شكل(٣١) العلاقة بين درجة حرارة المعدن ومعدل الصهر وبين الدخل الحرارى الكلى عند تشغيل الدست مع أو بدون السولار .

وشكل (٣١) يوضح العلاقة بين كل من درجة حرارة المعدن ومعدل الصهر وبين الدخل الحرارى الكلى لكل طن منتج من الحديد الزهر ، عند استخدام الكوك فقط مرة وعند استعمال الكوك والمازوت مرة أخرى . ومن الواضح أن إجمالى الدخل الحرارى المطلوب (للحصول على درجة الحرارة المطلوبة) يكون غالباً فى حالة استخدام المازوت والكوك ، وهذه المعلومة تعتبر صحيحة حتى فى حالة استخدام كوك بنسبة تقل عن ٨٪ من وزن الشحنة .

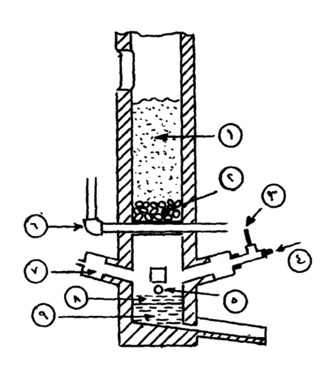
محاولات استخدام غاز أفران الكوك كوقود مساعد
Trials with Coke Oven Gas as Supplementary Fuel

جرت عدة تجارب لاستخدام غاز أفران الكوك كوقود إضافى . وفى هذه التجارب كان مطلوب الحصول على درجة حرارة عالية للمعدن . وكانت الشحنة تتكون غالباً من خردة الصلب وإضافات من السبائك الحديدية . وكان المعدن الناتج تتم معالجته بواسطة كربيد الكالسيوم أو مواد كربنة Carburizing Agent وذلك فى بوتقة ذات سدادة منفذة -Porous Plug ladle ، وذلك لإنتاج حديد زهر بطريقة تخليقية Synthetic Pig Iron .

وهذه المحاولات لاستبدال جزء من الكوك بكمية أخرى من الغاز مساوية لها فى المكافئ الحرارى Thermal Equivalent لم تكن محاولات ناجحة ، حيث لوحظ انخفاض واضح لدرجة حرارة المعدن وانخفاض نسبة الكربون المكتسبة مع زيادة فى نسبة الفقد فى السيليكون .

بينما جاءت من فرنسا بعض النتائج المشجعة فى حالة استعمال غاز أفران الكوك كوقود مساعد فى أفران الدست . وعلى أية حال فإن استخدام أنواع الوقود الهيدروكربونية كأنواع مساعدة وبديلة لإستعمال الكوك فى الأفران ، اصبح من الأمور التى لها مكانة مهمة خصوصاً فى حالة توافر هذه الأنواع من الوقود بأسعار معقولة .

وفى بريطانيا ودول أخرى تتغير وتتبدل الأسعار بدرجة متفاوتة ، مما أدى إلى تعطيل وتأخير إمكانية استخدام الغاز والمازوت كوسائل لتخفيض استهلاك الكوك ولتخفيض التكاليف فى أفران الدست ، خصوصاً بعد ظهور فرن الدست ذات الهواء المقسم .



شكل (٣٢)

١ - خامات الشحنة
٢ - فرشة حرارية
٣ - مدخل الهواء
٤ - مدخل الغاز
٥ - مستوى حقن الجرافيت
٦ - شبكه مبردة بالمياه
٧ - ولاعات
٨ - خبث
٩ - معدن منصهر

شكل (٣٢) منظر عام لفرن كوكلس

٥ - أفران الدست التى تعمل بدون استخدام كوك (كوكلس)
The Cokeless Cupola

إن السمات البارزة لأفران الكوكلس والتى ظهرت فى مصانع Hayes Shell Cast LTD مبنية فى شكل (٣٢) . وفى هذه الأفران يتم تحميل الخامات المشحونة على فرشة من الحراريات على شبكة مواسير مبردة بالمياه ، بدلاً من تحميلها على فرشة من فحم الكوك المشتعل . ويتم تشغيل الولاعات بواسطة الغاز أو المازوت . وقد أثبتت التجارب أن التشغيل باستخدام المازوت يعطى درجة حرارة أعلى للمعدن .

ولتعويض النقص فى الكربون ولإنتاج حديد زهر يحتوى على نسبة عالية ومناسبة من الكربون فإنه يتم حقن الفرن بمواد كربنة Carburizer أسفل مستوى الولاعات مباشرة ولكن

فوق مستوى الجلخ ، ومصاريف الوقود فى مثل هذا الفرن تعتبر قليلة نسبياً ، ولكن يقابلها فى نفس الوقت أرتفاع مصاريف فرشة الحراريات ومواد الكربنة المطلوبة لإنتاج الزهر .

أنواع الوقود الغازى أو البترولى الخفيف تحتوى على نسبة منخفضة من الكبريت وتؤدى إلى إنتاج حديد زهر يحتوى على نسبة كبريت فى حدود ٠,٠٢ - ٠,٠٣٪ والذى ينصح باستخدامه فى إنتاج الحديد الزهر الكروى Nodular (SG) Iron . ومن أهم مزايا أفران الكلوكلس هو انخفاض كمية المقذوفات التى تخرج من مدخنة الفرن ، وقد أثبتت ذلك الاختبارات .

٦ - استعمال كربيد الكالسيوم فى أفران الدست

The Use of Calcium Carbide

إن النوع الأيوتكتيكى من كربيد الكالسيوم والمحتوى على ٧٢٪ من كربيد الكالسيوم ، والذى يشبه النوع الأيوتكتيكى من الجير وكربيد الكالسيوم ينصهر عند حوالى ١٦٣٠°م وهو ذات درجة حرارة انصهار أكثر انخفاضاً من الكربيد التجارى ، يعتبر هو الصنف المناسب لاستعماله فى أفران الدست .

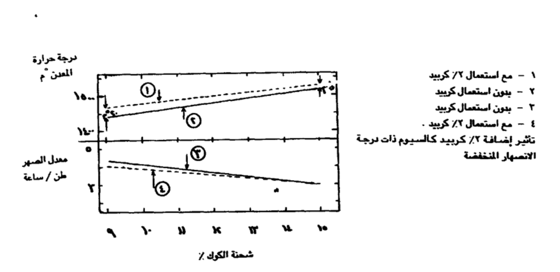
ويضاف كربيد الكالسيوم إلى فرن الدست كعامل إضافى ومكمل Supplement للحجر الجيرى Limestone . أو الدولوميت Dolomite . وأثناء عملية الحريق يتحد كربيد الكالسيوم مع الأكسجين لتكوين أكسيد كالسيوم وثانى أكسيد الكربون ويدخل أكسيد الكالسيوم فى تركيب الخبث ، حيث يكون له تأثير واضح فى إزالة الكبريت Desulphurizing عندما تزيد قاعدية الخبث Slag Basicity ؛ بالإضافة إلى هذا فإن هذا التفاعل يكون طارداً للحرارة بشدة Strongly Exothermic وهذا بالتالى يؤدى إلى زيادة درجة حرارة المعدن ونسبة الكربون المكتسب أيضاً . ويحبذ استعمال كربيد الكالسيوم عند استخدام نسبة عالية من الخردة أو الصلب أو كوك من النوع الردئ . وعند إنتاج حديد زهر كروى Nodular Iron من أفران الدست الحامضية Acid Cupola . ومن مزايا كربيد الكالسيوم الخاصة هى التحكم فى الخبث المطلوب بدرجة لائقة مع إعطاء درجة حرارة جيدة فى بداية تشغيل الفرن .

وشكل رقم (٣٣) يوضح نتائج بعض الأبحاث التى أجريت على بعض أفران الدست

فى بكيرا . وقد أظهرت النتائج تأثير إضافة كربيد الكالسيوم بنسبة ٢٪ إلى شحنة الفرن وتأثيره على كل من درجة حرارة المعدن ومعدل الصهر بالمقارنة بظروف التشغيل العادى . واتضح أنه عن إضافة ٢٪ كربيد كالسيوم مع استعمال شحنة كوك بنسبة ٥ . ١٦٪ فإن درجة حرارة المعدن تزيد بمقدار ٥°م بينما لايتأثر معدل الصهر تأثيراً ملحوظاً ، وعند استعمال شحنة كوك بنسبة ١٠٪ فإن إضافة كربيد الكالسيوم يزيد درجة حرارة المعدن بمقدار ٢٠°م ويخفض معدل الصهر بمعدل بسيط حوالى ٦ . ٢٪ .

إن إضافة كربيد الكالسيوم ليس له تأثير يذكر على نسب العناصر فى المعدن مثل الكربون والسيليكون والمنجنيز والفوسفور ؛ بينما تنخفض نسبة الكبريت بنسبة ٠١ . ٠٪ وبناءً على النتائج المستفادة وجد أن مزايا استعمال كربيد الكالسيوم ذى درجة الانصهار المنخفضة ذات فوائد محدودة نسبياً بالمقارنة مع مصاريف استخدامه .

وفى وقتنا هذا تدّعى بعض المسابك بأن مصاريف استخدام كربيدالكالسيوم يمكن تدبيرها فى مقابل بعض الاعتبارات الاقتصادية والفنية . لكن بعض المسابك الأخرى تتنازل عن استعماله بعد محاولات البحث والتجربة . وكربيد الكالسيوم قد يتواجد فى الأسواق جاهزاً ومعبأ فى براميل صلب أو أكياس بلاستيك ، وذلك للاستعمال المباشر فى أفران الدست .



شكل(٢٣)

الباب السادس

استعمال الاكسجين فى أفران الدست

Use of Oxygen in the Cupola

إن التأثيرات الحرارية والميتالورچية المفيدة لاستعمال الاكسجين فى أفران الدست معروفة منذ سنوات طويلة ، لكنها ولزمن قريب لم يكن استعمال الأكسجين ذات انتشار واسع بسبب عدم تناسب فوائده مع إرتفاع مصاريف استخدامه . وفى بعض الظروف القليلة التى يستخدم فيها الأكسجين ؛ حيث كان يستخدم عادة كفترات علاجية فى بداية تشغيل الأفران بعد التوقفات المتتالية ، أو كمحاولة سريعة لاستعادة المعدن لدرجة حرارته المطلوبة . وفى السنوات الأخيرة زادت أسعار خامات الكوك وزهر التماسيح والسبائك الحديدية زيادة واضحة جداً ، لكن أسعار الأكسجين أرتفعت بدرجة أقل نسبياً ، ولهذا السبب تزايد الطلب على استعمال الأكسجين بصورة متزايدة . وعلى حين أنه منذ سنوات قليلة لم يكن استعمال الأكسجين اقتصادياً ؛ أما الآن فيمكن استخدامه فى المسابك بصورة اقتصادية .

فوائد استعمال الأكسجين Benefits of Using Oxygen

يمكن استعمال الأكسجين بصورة مستمرة أثناء التشغيل أو بصورة متقطعة تماماً .

الاستعمال بالطريقة المستمرة Continuous Use

بالمقارنة مع طريقة التشغيل المعتادة فإن استخدام الأكسجين يؤدى إلى :

١- زيادة درجة حرارة المعدن وزيادة نسبة الكربون المكتسب Pick up وانخفاض الفقد فى السيليكون لنفس الشحنة المستهلكة من الكوك . وارتفاع نسبة الكربون المكتسب يؤدى بالتالى إلى امكانية خفض تكاليف شحنة الخامات ، حيث يمكن استبدال شحنة زهر التماسيح بشحنة أخرى من خامات أقل تكلفة مثل خردة الزهر أو خردة الصلب كما أن انخفاض الفقد فى السيليكون أثناء تشغيل الفرن يؤدى إلى خفض استهلاك السيليكون وتخفيض إجمالى التكلفة .

٢- إنخفاض فى استهلاك الكوك وبالتالى مصاريف الوقود ، إذا كان المطلوب هو الحصول على نفس درجة حرارة المعدن بدون زيادة وبدون زيادة الكربون المكتسب ، وبدون انخفاض نسبة الفقد فى السيليكون .

٣- زيادة معدل الصهر .

٤- الوصول إلى درجة حرارة المعدن المطلوبة فى زمن قليل وبسرعة فى بداية تشغيل الفرن وبعد فترات التوقف Shut-down Periods .

الاستعمال بالطريقة المتقطعة Intermittent Use

ويمكن استعمال الأكسجين بطريقة متقطعة لتحقيق الهدف التالى :

١- للحصول على درجة الحرارة المطلوبة للمعدن عند فتحة البزل فى وقت أسرع عند بداية الصهر أو بعد حدوث توقف مفاجئ Shut Down ، وبهذا تقل كمية المعدن التى قد تصب على شكل تماسيح Metal Pigged أو من ناحية أخرى لتقليل حدوث عيوب السباكة ، التى يكون سببها استعمال معدن بارد .

٢- للحصول على معدل صهر مرتفع فى فترات قصيرة .

طرق استعمال الأكسجين Methods of Using Oxygen

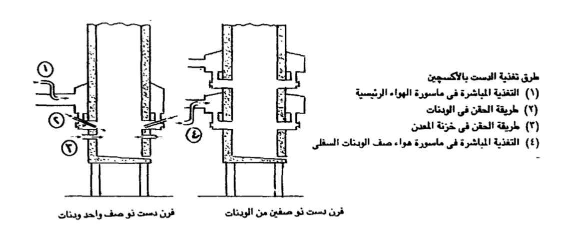
هناك ثلاث طرق لإمداد فرن الدست بالأكسجين كما هو موضح بشكل (٣٤) :

١- **الطريقة الأولى** : بدفع الأكسجين مع هواء المروحة Direct Enrichment of the Blast

وهذه هى أبسط طريقة وتعتبر هى أقل طريقة من ناحية التكاليف والمعدات المستخدمة والصيانة . ويتم تغذية الأكسجين من خلال الماسورة الرئيسية لهواء المروحة ، حيث يختلط مع الهواء قبل دخوله إلى فرن الدست عن طريق الودنات .

٢- **الطريقة الثانية** : الحقن فى الخزنة Injection into the Well

يتم حقن الأكسجين فى فرشة الكوك أسفل الودنات عن طريق حاقنات مبردة بالمياه Water-Cooled Injectors ، وموضوعة فى بطانة الفرن ويتم تغذية الحاقنات عن طريق ماسورة رئيسية دائرية Ring Main . ويعتمد عدد أجهزة الحقن على حجم الفرن .



شكل(٣٤)

واستخدام هذه الطريقة تعتبر أكثر كفاءة من الطريقة الأولى . ويتم استخدام هذه الطريقة فى الأفران التى يكون فيها الصب مستمراً ؛ أما الأفران ذات الصب المنقطع فيكون هناك خطورة بسبب احتمالية ارتفاع مستوى الجلخ أو المعدن ووصول أحدهما إلى الحاقنات In-jectors وحتى فى حالة الصب المستمر فإن هذا الخطر يعتبر من المشاكل القائمة أيضاً .

٣- **الطريقة الثالثة** : الحقن فى الودنات Injection at the Tvyeres :

ويتم حقن الأكسجين عن طريق حاقنات موضوعة داخل الودنات نفسها ، وهذه الطريقة تعتبر ذات تأثير متوسط بين الطريقتين الأولى والثانية ، وتتعرض الحاقنات لتأثير الحرارة المشعة من فرشة الكوك أثناء فترات توقف مروحة الهواء ، وتصنع هذه الحاقنات عموماً من مواسير مصنوعة من الصلب الذى لايصدأ Stainless Steel .

تأثيرات الأكسجين على أفران الدست العادية والأفران ذات الهواء المقسم

Effects of Oxygen in Conventional and Divided Blast Cupola Operation

إن حدوث تطور مهم فى أفران الدست ، وذلك بظهور الأفران ذات الهواء الموزع ، حيث يتم توزيع الهواء خلال صفين من الودنات موضوعين بطريقة صحيحة بالنسبة لبعضهما البعض ، ويتم تقسيم الهواء بين الصفين بالتساوى . وحالياً قام اكثر من مائة مسبك فى بريطانيا ودول أخرى بتحويل أفران الدست المعتادة إلى أفران ذات صفين من الودنات (هواء موزع) أو بناء أفران جديدة من هذا النوع بهذه الطريقة الحديثة ، بهدف تشغيل الأفران بطريقة أكثر اقتصادية وأكثر كفاءة .

وقد قامت بكيرا بإجراء بحث استهدف دراسة تأثير استعمال الأكسجين فى الأفران العادية وأفران الهواء المقسم مع وضع الأساس لتقييم أكثر الطرق اقتصادية وأكثرها سهولة فى تطبيقها عند تشغيل الأفران ذات الهواء البارد باستخدام العديد من الطرق الممكنة . ولهذا السبب فقد كان استعمال الأكسجين يتم بالطرق التالية فى الأفران العادية والحديثة كما يلى :

١- تغذية الأكسجين بواسطة ماسورة الهواء الرئيسية مباشرة .

٢- حقن الأكسجين من خلال مواسير موضوعة داخل الودنات .

٣- حقن الأكسجين فى خزنة الفرن well وعلى مسافات مختلفة أسفل الودنات .

ظروف الاختبارات Tests Conditions

تم إجراء الاختبارات على فرن دست قطره الداخلى ٧٦سم بمعدل هواء حوالى ٤٥ متر٣ / دقيقة (١٦٠٠ قدم / دقيقة) . وهذا يعنى أنه فى الحالة التى لم يستعمل فيها الأكسجين كان معدل الهواء العادى ٤٥ متر^{٣} / دقيقة . أما فى الحالة التى كان يستعمل فيها الأكسجين فإن كمية الأكسجين الإجمالية (والتى كانت على صورة هواء مروحة أو أكسجين إضافى) كانت تعادل كمية الأكسجين الموجودة فى كمية هواء مروحة بمعدل ٤٥ متر^{٣} / دقيقة . وفى هذه الحالة فإن معدل الهواء الحقيقى يصبح أقل من المعدل العادى .

وكانت كمية الأكسجين المستعملة تكافئ الكمية المطلوبة لرفع نسبة الأكسجين فى هواء المروحة بنسبة ٤٪ بحيث ترتفع نسبة الأكسجين فى هواء المروحة من ٢١٪ إلى ٢٥٪ وجدول رقم (٤) يوضح معدلات تدفق الهواء ومعدلات الأكسجين أثناء التشغيل :

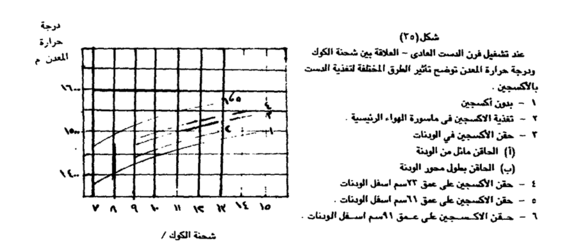
البيـــــان	بدون أكسجين		باستخدام أكسجين	
	م^3/دقيقة	قدم^3/دقيقة	م^3/دقيقة	قدم^3/دقيقة
معدل تدفق الهواء م^3/دقيقة (قدم^3/دقيقة)	٤٥	١٦٠٠	٣٦	١٢٧٦
كمية الأكسجين فى الهواء م^3/دقيقة (قدم^3/دقيقة)	٩.٥	٣٣٦	٧.٦	٢٦٨
النتروجين فى الهواء م^3/دقيقة (قدم^3/دقيقة)	٣٦	١٢٦٤	٢٨.٥	١٠٠٨
الأكسجين الإضافى م^3/دقيقة (قدم^3/دقيقة)	٠٠	٠٠	١.٩	٦٨
إجمالى الأكسجين م^3/دقيقة (قدم^3/دقيقة)	٩.٥	٣٣٦	٩.٥	٣٣٦
نسبة الأكسجين فى الهواء ٪ بالحجم	٢١	٢١	٢٥	٢٥

جدول رقم (٤-١)

نتائج الاختبارات Results of tests

أولاً : فى حالة التشغيل العادى :

شكل رقم (٣٥) يوضح العلاقة بين شحنة الكوك ودرجة حرارة المعدن عند التشغيل باستخدام الاكسيجين أو بدون استخدام الأكسجين وبالطرق المختلفة التى سبق شرحها . وعند تشغيل الفرن مع استعمال كوك بأى نسبة مع زيادة نسبة الأكسجين فى هواء المروحة بنسبة ٤٪ فإن درجة حرارة المعدن تزيد بمقدار ١٥°م وإذا تم حقنه فى الودنات تزيد درجة حرارة المعدن بمقدار ٤٠°م وإذا تم حقنه فى الخزنة وتحت الودنات بمسافة حوالى ٢٣ سم تزيد درجة حرارة المعدن بمقدار ٥٠°م ؛ أما إذا كانت المسافة ٦١ سم أو ٩١ سم أسفل مستوى الودنات فإن درجة حرارة المعدن تزيد بمقدار ٨٥°م . ولجعل عملية حقن الأكسجين ممكنة على عمق ٦١سم ، ٩١سم من الودنات فإنه تم تثبيت أماكن أجهزة الحقن مع رفع الودنات إلى المسافة المطلوبة .



شكل(٣٥)

والمنحنيات الموجودة فى شكل (٣٥) توضح المدى الذى يمكن فيه تخفيض استهلاك الكوك ، تبعاً لدرجة الحرارة المطلوبة للمعدن . فمثلاً بدون استخدام الأكسجين فإنه يتم شحن كوك بنسبة ١٥٪ للحصول على معدن درجة حرارته ١٥٠٠°م . وعند حقن الأكسجين فى الودنات فإن نفس درجة الحرارة يمكن الحصول عليها عند شحن كوك بنسبة ٨ , ١٠٪ وإذا كان سعر طن الكوك حوالى ٨٠ جنيه استرلينى فتكون قيمة الوفر حوالى ٣,٣٦ جنيه استرلينى لكل طن من الزهر المنتج . وكمية الأكسجين المطلوبة فى هذه الحالة ستكون حوالى ٢٨,٤ متر³/طن زهر ، والتى من الممكن أن يكون سعرها ٦ جنيه استرلينى لكل ١٠٠ متر³ وتكون تكلفتها تمثل حوالى ١,٧٠ جنيه استرلينى . وفى هذه الحالة فإن استخدام الأكسجين سيؤدى إلى وجود وفر يمثل حوالى ١,٦٦ جنيه استرلينى لكل طن معدن (هذه القيمة كلها بالجنيه الاسترلينى) .

أما فى حالة ماإذا كانت درجة حرارة المعدن ١٤٧٥°م فإن حقن الأكسجين فى الودنات نفسها سوف يسمح بخفض استهلاك الكوك من نسبة ١٢٪ إلى ٩,٣٪ وهذا يوفر

حوالى ٢,١٦ جنيه استرلينى / طن واستهلاك الأكسجين فى هذه الحالة ٢٦,٢ متر٣ / طن بواقع ٦ جنيه استرلينى / ١٠٠ متر٣ سوف يكلف حوالى ١,٥٧ جنيه استرلينى / طن .

وهذا يعنى أننا سوف نحصل على وفر نهائى مقداره ٠,٥٩ جنيه استرلينى/ طن زهر . وفى الأمثلة السابقة اعتبرنا أن سعر الأكسجين حوالى ٦ جنيه استرلينى/ ١٠٠ متر٣، وهذا السعر غير ثابت ويتوقف على عدة عوامل أهمها كمية اسطوانات الأكسجين التى يتم شراؤها . فالمسابك الكبيرة يمكنها الحصول على الأكسجين بسعر أقل من المسابك الصغيرة . والسعر المتداول لاسطوانات الأكسجين يتراوح بين ٣ – ٨ جنيه استرلينى / ١٠٠م٣ وعلى الرغم من الفرق الكبير فى الأسعار فإن بعض المسابك تحصل عليه بسعر ضئيل جداً ، بينما يحصل بعض المسابك الأخرى عليه بسعر مرتفع . وبالإضافة إلى سعر شراء الأكسجين فإن بعض الشركات الموردة تفرض رسوم على شحن اسطوانات الأكسجين السائل وتخزينه وتعبئته . ومثالاً على ذلك فإن فرن دست طاقته الإنتاجية ٤ طن / ساعة يحتاج أكسجين قيمته حوالى ٤٠٠٠ جنيه استرلينى / سنة . ويجب إضافة هذه التكلفة وإدراجها فى حسابات التشغيل لبيان مدى صلاحية استعمال الأكسجين .

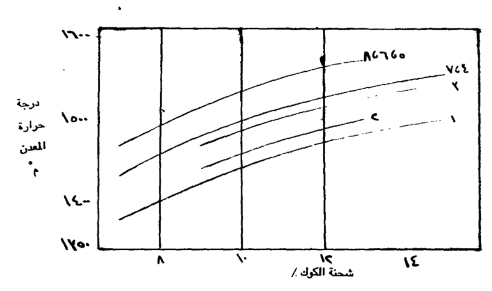
عند تشغيل أفران الدست ذات الهواء الموزع – العلاقة بين شحنة الكوك ودرجة حرارة المعدن نوضح تأثير الطرق المختلفة لتغذية الدست بالأكسجين

● بدون أكسجين .
Δ تغذية بالأكسجين في الصف العلوى والسفلى للودنات
+ حقن الأكسجين علي عمق ٢٣سم اسفل الودنات
o تغذية الأكسجين فى ماسورة الصف السفلى فقط
× حقن الأكسجين فى ودنات الصف السفلى .
▭ حقن الأكسجين على عمق ٤٦سم اسفل الودنات .

شكل(٣٦)

ثانياً : فى حالة تشغيل الفرن ذى الهواء المقسم :

العلاقة بين شحنة الكوك ودرجة حرارة المعدن فى هذا النوع من الأفران مع استخدام الأكسجين أو بدون استخدامه موضحة فى شكل رقم (٣٦) . وأفضل النتائج التى تم الحصول عليها هى فى الحالات التى تم فيها إدخال الأكسجين إلى الصف السفلى من الودنات فقط . إن استخدام طريقة الحقن فى الودنات أو الخزنة لاتعطى أى نتائج أفضل من هذه الطريقة البسيطة فى استعمال الأكسجين . وعند استخدام شحنة معينة من الكوك واستعمال كمية من الأكسجين الزائد تمثل ٤٪ ودفعها خلال الهواء الداخل للودنات السفلية فإن درجة حرارة المعدن تزداد بمقدار ٣٥°م .



الأفران العادية ذات الهواء الموزع – العلاقة بين شحنة الكوك ودرجة حرارة المعدن

توضيح تأثير الطرق المختلفة لتغذية الدست بالاكسجين

فى الأفران العادية

١ – بدون أكسجين

٢ – تغذية الأكسجين فى الماسورة الرئيسية (+ ١٥ °م)

٣ – الحقن فى الودنات (+ ٤٠ م)

٤ – الحقن عند ٢٣سم اسفل الودنات (+ ٥٠ °م)

٥ – الحقن عند ٦١سم اسفل الودنات (+ ٨٥ °م)

٦ – الحقن عند ٩١سم اسفل الودنات (+ ٨٥ °م)

فى افران الهواء الموزع

٧ – بدون أكسجين (+ ٥٠ °م)

٨ – تغذية الأكسجين فى الماسورة الرئيسية (+٨٥°م)

شكل(٣٧)

ثالثاً : المقارنة بين الأفران العادية وأفران الهواء المقسم :

يوضح شكل (٣٧) النتائج التى تم الحصول عليها فى حالة التشغيل فى الأفران العادية ، وفى حالة الأفران ذات الهواء المقسم ، ويتضح من هذا أن أفران الهواء المقسم يكون درجة حرارة معدنها بدون استعمال الأكسجين تكون أعلى من الأفران العادية ، والتى يستعمل فيها الأكسجين بنسبة ٤٪ زيادة فى هواء المروحة ؛ أو حتى محقون فى الودنات بنفس النسبة ، وإذا تم حقن الأكسجين فى الخزنة بنسبة ٤٪ على عمق ٢٣ سم من الودنات فى الأفران العادية فإنها تعطى نفس درجة الحرارة . أما عند حقن الأكسجين على عمق بين ٦١سم ، ٩١سم أسفل الودنات فى الأفران العادية فإنها تعطى نفس درجة الحرارة فى الأفران الحديثة ، إذا تم دفع الأكسجين خلال هواء الصف السفلى من الودنات .

رابعاً : تقدير اقتصاديات العمليات

Economic Appraisal of Proecesses

يمكن من خلال عمليات تقدير اقتصاديات كل طريقة من طرق التشغيل السابقة استنتاج بعض النتائج العامة . إن عملية التشغيل باستخدام صفين من الودنات هى أكثر الطرق تفضيلاً لتخفيض تكاليف الصهر . إن التكاليف الكبرى فى هذه العملية سبق مناقشتها (عملية تحويل الفرن إلى فرن ذى هواء مقسم) . كما أن استخدام الأكسجين فى هذه الطريقة لايؤدى إلى وجود مصروفات مستديمة Continuing Cost . وبعض المسابك تكون قادرة على استعادة وتغطية التكلفة الكلية ، فى حالة تحويل الفرن إلى صفين من الودنات فى مدة شهور قليلة ولاتتجاوز سنة .

والتطوير الأفضل يمكن الحصول عليه باستعمال أكسجين فى الفرن ذى الهواء المقسم Divided ؛ لكن اقتصاديات هذه العملية تعتمد على ظروف الصهر المطلوبة ، وعلى أسعار الأكسجين المستخدم . فمثلاً الشكل رقم (٣٧) يوضح أنه يمكن الحصول على درجة حرارة معدن مقدارها ١٥٥٠°م إذا تم استعمال كوك بنسبة ١٥٪ لكن مع استخدام ٤٪ أكسجين زيادة فى الهواء فيمكن خفض نسبة الكوك إلى ١١٪ وهذا يؤدى إلى وفر قدره ٣,٢ جنيه استرلينى لكل طن معدن (إذا كان ثمن طن الكوك ٨٠ جنيه استرلينى) وسوف تكون تكاليف الأكسجين حواى ١,٧٢ جنيه استرلينى / طن (حيث سعر الأكسجين ٦ جنيه

استرلينى / ١٠٠ م٣) وبالتالى يكون إجمالى الوفر لكل طن معدن منتج يمثل حوالى ١,٤٨ جنيه استرلينى / طن .

ومن ناحية أخرى فإنه للحصول على درجة حرارة معدن مقدارها ١٥٠٠°م فإن استهلاك الكوك سوف ينخفض من ١٠٪ بدون استخدام الأكسجين إلى حوالى ٨,٣٪ عند استخدام الأكسجين الزيادة فى هواء الفرن . وفى هذه الظروف فإن الوفر فى تكلفة الفحم تساوى ١,٣٦ جنيه استرلينى/ طن بينما تكلفة الأكسجين تمثل ١,٤٨ جنيه استرلينى/ طن، وفى هذه الظروف فإن استخدام الأكسجين لن يمثل وفر اطلاقاً فى تكلفة صهر الطن المنتج من حديد الزهر .

وهناك بعض الحالات التى يكون فيها الفرن ذو الصفين غير عملى أو غير مطلوب . فمثلاً فى حالة ماتكون اسطوانة الفرن Shaft قصيرة جداً ، أو إذا كانت فترة التشغيل اليومى فترة قصيرة جداً ، أو إذا كان معدل الصهر ضعيف جداً لايتناسب مع تكاليف عملية التغيير ، وبالتالى فإن عملية التغيير هذه قد تصبح صعبة أو مستحيلة . ومثال آخر فى حالة إفران الدست التى يتم تبريدها بالكامل بالمياه فقد يكون من الضرورى إعادة تصميم وتغيير مقطع التبريد Section تماماً . إذا كان هناك اضطرار لتشغيل فرن الدست مع استخدام صف واحد من الودنات وأردت استخدام الأكسجين بدرجة كفاءة عالية وذلك بحقن الأكسجين فى خزنة المعدن فإن هذا لسوء الحظ قد يؤدى إلى عدة مشاكل قد تقلل من استخدامه منها :

١- سيكون استخدامه محصوراً على الأفران ذات الصب المستمر .

٢- صعوبة تجهيز مكان ملائم لأجهزة الحقن على مسافة مناسبة ومأمونة تحت الودنات .

٣- أجهزة الحقن تتعرض للتآكل من المعدن أو الخبث وقد يتطلب الأمر تغييرها بين الحين والحين .

٤- عملية الحقن تؤدى إلى تآكل منطقة متسعة من البطانة حول المحاقن ، مما يؤدى إلى ضرورة الحاجة إلى اعادة الترميم .

٥- ان استخدام هذه الطريقة يؤدى إلى انخفاض نسبة الكربون والسيليكون فى المعدن ، مما يؤدى إلى انخفاض المكافئ الكربونى بدرجة أكبر من استخدام الطرق الأخرى .

ومن ناحية أخرى فإن استخدام الأكسجين وتغذيته عن طريق هواء المروحة تعتبر طريقة بسيطة ، ولكن كفاءتها أقل . وكحل وسط فإن استخدام الأكسجين بطريقة الحقن من خلال الودنات تعتبر حلاً وسطاً بين الطريقتين السابقتين فى كفاءتها وخطورتها واقتصادياتها . وهذه الطريقة يتزايد استخدامها فى العديد من المسابك .

تأثير الأكسجين على معدل الصهر :

ان الاختبارات التى سبق شرحها تمت كلها عند معدل ثابت من الهواء يكافئ حوالى ٤٥ متر٣ / دقيقة وفى حالة استخدام كمية معينة من الكوك ، فإن طريقة التشغيل باستخدام الأكسجين أو بدونه أو باستخدام صفين من الودنات أو بكليهما معاً ، فإن معدل الصهر لايتأثر بدرجة واضحة . فى حين أنه إذا تم تخفيض نسبة الكوك فى الشحنة للحصول على درجة حرارة معينة فإن معدل الصهر يزيد تبعاً للطريقة المستخدمة فى التشغيل . إن زيادة معدل الصهر الناتجة عن استخدام الأكسجين أو نظام الهواء المقسم أو كليهما معاً ، تستطيع أن تعطى مزايا اقتصادية ، حيث تؤدى إلى تخفيض التكلفة الثابتة وتتخلص من

جدول (٤ - ب)

تأثير طريقة التشغيل على معدل الصهر للحصول على معدن ذو درجة حرارة ١٥٠٠°م عند فتحة البزل

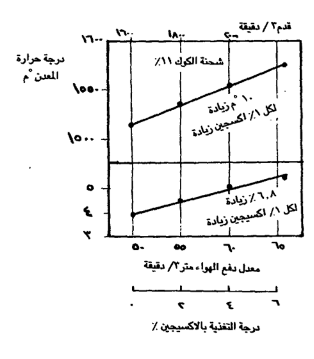
معدل دفع الهواء حوالى ٤٥م٣ / دقيقة (١٦٠٠ قدم٣ / دقيقة)

نوع الفــرن	شحنة الكوك ٪	معدل الصهر	
		طن / ساعة	الزيادة ٪
فرن الدست المعتاد :			
بدون اكسجين	١٥	٣.٢٠	—
٤٪ اكسجين زيادة فى الماسورة الرئيسية	١٣	٣.٥٠	١٢
٤٪ اكسجين محقون فى الودنات	١٠.٨	٤.٠	٢٧
٤٪ اكسجين محقون على عمق ٦١ سم اسفل الودنات	٨.٣	٤.٧	٤٦
فرن الدست ذات الهواء الموزع :			
بدون اكسجين	١٠.٠	٤.٢٠	٣٣
٤٪ اكسجين زيادة فى ماسورة الهواء الرئيسية	٨.٣	٤.٧٠	٤٦
اكسجين زيادة فى الودنات السفلية			

وقت العمل الإضافى وتؤدى إلى زيادة الربح نتيجة معدلات الإنتاج المتزايدة .

تأثير إمداد هواء المروحة بكميات إضافية من الأكسجين

إذا كان مطلوباً الحصول على معدل صهر زيادة بالإضافة إلى زيادة درجة حرارة المعدن فى نفس الوقت ، أو إذا كان مطلوباً الحصول على معدل صهر أكبر من معدل الصهر (الذى تم الحصول عليه عند خفض نسبة الكوك وثبات كمية الهواء) فإن فى هذه الحالة يمكن استعمال الأكسجين بكميات إضافية لزيادة إجمالى معدلات الهواء عن النسبة المعتادة ، وعلى هذا فيمكن زيادة إجمالى معدل الهواء وذلك باستعمال الأكسجين .



شكل (٣٨)
فى أفران الدست الهواء الموزع – تأثير زيادة درجة تغذية الأكسجين فى الدست عن طريق ماسورة الهواء الرئيسية .

شكل(٣٨)

وشكل رقم (٣٨) يوضح تأثير زيادة نسبة الأكسجين فى هواء الفرن عند استعمال

معدل هواء ثابت ٤٥ متر٣ / دقيقة ففى فرن دست ذى هواء مقسم ، حيث يتضح أن كل زيادة فى الأكسجين بنسبة ١٪ تؤدى إلى رفع درجة حرارة المعدن بمقدار ١٠°م وزيادة معدل الصهر بمقدار ٦,٨٪ وبهذه الطريقة يمكن رفع معدلات الصهر للأفران الموجودة فوق المعدلات المثالية وبدون إحداث أى ظواهر سيئة مثل ظاهرة هواء الفرن الزائد Over Blowing والذى يحدث نتيجة محاولة زيادة معدلات تدفق الهواء عن المعدلات المعتادة . وقد وجد العديد من المسابك أن انخفاض التكلفة وزيادة الإنتاج الناتجة عن معدلات الإنتاج الزيادة التى تم الحصول عليها ، جعلت من استخدام الأكسجين وضعاً مقبولاً ومرضياً .

كلمة مختصرة Summary

يتضح مما سبق أنه فى حالة الأفران المعتادة يمكن استخدام الأكسجين بدرجة أكثر كفاءة ، وذلك بحقنه فى خزنة المعدن باستخدام أجهزة حقن مبردة بالمياه Water-Cooled Lances وهذه الطريقة تؤدى إلى مشاكل إضافية مثل صيانة المحاقن والتآكل الجزئى فى البطانة فى منطقة المحاقن مع ضرورة الحاجة إلى وجود مصدر لمياه التبريد بالإضافة إلى صعوبة وضع أجهزة الحقن على مسافة مناسبة تحت الودنات ، وهذه الطريقة يتم استخدامها فى الأفران ذات الصب المستمر فقط . والطريقة البسيطة لإمداد هواء الفرن بالأكسجين تعتبر هى الطريقة الأقل كفاءة . ولهذا تعتبر طريقة حقن الأكسجين من خلال الودنات هى الحل الوسط والتى تعطى ربحاً اقتصايا وإمكانية جيدة للتشغيل .

وعموماً عند البحث عن طريقة دائمة لتحسين الأداء وظروف التشغيل فإنه يفضل تحويل الفرن إلى فرن ذى هواء موزع ، إذا كانت فترة التشغيل طويلة بدرجة كافية والإنتاج عال نسبيا ليتلاءم مع تكلفة التحويل . ويمكن الحصول على فوائد أخرى إذا تم استخدام الأكسجين فى مثل هذا النوع من الأفران لكن العائد الاقتصادى يعتمد أساساً على السعر الذى يمكن به شراء الأكسجين ، وعلى ظروف عملية الصهر نفسها .

وبالإضافة إلى استعمال الأكسجين بطريقة متصلة فإنه يمكن استعماله بطريقة متقطعة ، وفى كثير من المسابك تستعمل الطريقة المتقطعة فعلاً . إن استعمال الأكسجين لمدة ١٠ – ١٥ دقيقة قبل نزول المعدن يؤدى إلى زيادة درجة حرارة الصبة الأولى من المعدن كما أنه يزيد من معدل استعادة درجة حرارة المعدن بعد التوقف الطويل للفرن عند العطلات

. إن إمكانية استخدام الأكسجين فى محاولة استعادة درجة حرارة المعدن بسرعة يقلل من نسبة التوالف فى المنتج نتيجة استخدام زهر بارد .

وبعيداً عن استخدام الأكسجين بطريقة متصلة ، فإن توافر الأكسجين يعطى الفرصة لاستخدامه كأداة مفيدة وطيعة للسيطرة ولعلاج ظروف الصهر السيئة ، والتى لايمكن تجنبها ، كما أنه يستطيع زيادة كمية الإنتاج بدرجة معقولة إذا طلب ذلك . ومن ناحية أخرى لايجب اعتبار الأكسجين على أنه سلعة ليست غالية الثمن . كما لا يجب أن يتم استخدامه كوسيلة متاحة أو كعلاج سريع للأخطاء المستديمة أو سوء التصرف المستمر .

الباب السابع

كيفية حساب شحنة الفرن وطرق اختيار الخامات

Cupola Charge Calculation and Selection of Materials

إن الأساس الموضوعى لأى تشغيل جيد لفرن الدست هو إنتاج حديد زهر ذات التركيب الكيميائى المطلوب للمسبوكات المختلفة وبطريقة اقتصادية . ولدراسة هذه الموضوع فإنه يجب معرفة التركيب الكيميائى لكل أنواع المواد الخام التى تدخل فرن الدست Raw Materials وذلك لتشكيل الشحنة بطريقة صحيحة ومعرفة التغيرات فى التركيبات التى تحدث داخل الفرن أثناء الصهر .

أنواع المواد الخام المتاح استعمالها فى عملية الصهر فى فرن الدست

Raw Materials Available for Cupola Melting

إن أنواع المواد الخام والتى تستخدم كخامات للصهر فى أفران الدست يمكن تقسيمها تبعاً لنسبة احتوائها على الكربون ، موضحة فى جدول رقم (٥) وهى تنقسم إلى ثلاثة أنواع ونوع رابع كما يلى :

١- خامات مرتفعة الكربون High Carbon Materials .

٢- خامات متوسطة الكربون Medium Carbon Materials .

٣- خامات منخفضة الكربون Low Carbon Materials .

٤- خامات سبائكية (السبائك الحديدية وماشابه ذلك) Alloys .

جدول رقم (٥) تقسيم خامات الزهر الأساسية

خامات حديدية ذات نسبة كربون مرتفعة High carbon	حديد زهر التماسيح Pig Iron حديد الزهر المصنع أو المنقى Refined Iron
خامات حديدية ذات نسبة كربون متوسطة Medium carbon	الخردة المرتجعة Returned Scrap خردة الزهر المشتراة Bought Cast Iron Scrap رايش المخارط والمثاقيب من الحديد الزهر Cast Iron Turnings & Borings
خامات حديدية ذات نسبة كربون منخفضة Low Carbon	خردة الصلب Steel Scrap
السبائك Alloys	مخفف – مثل حديد الزهر المفضض Dilute مركز – السبائك الحديدية Concentrated على شكل قوالب Briquettes

١- الخامات الحديدية ذات نسبة الكربون المرتفعة High Carbon Material

أولاً : زهر التماسيح Pig Iron

إن المصدر الرئيسى لهذا النوع من الخامات لأفران الدست هو زهر التماسيح Pig Iron ، وهو منتج معدنى يتم الحصول عليه عن طريق اختزال خامات الحديد الطبيعية Iron Ores فى الأفران العالية لإنتاج الزهر Blast Furnaces . والعناصر السبائكية الموجودة فى زهر التماسيح Alloying Elements الموجودة مثل الكربون والسيليكون والكبريت و (فى حدود ضيقة) المنجنيز يمكن ضبطها عن طريق أسلوب تشغيل الفرن العالى ، وذلك بهدف إنتاج العديد من نوعيات الحديد الزهر ذى التراكيب المختلفة والتى تتناسب مع عملية الصهر بأفران الدست لإنتاج أصناف ونوعيات عديدة من مسبوكات الحديد الزهر . ومن ناحية أخرى فإن عنصر الفوسفور لايمكن ضبطه فى الفرن العالى ؛ وذلك لأن جميع مركبات الفوسفور يتم اختزالها داخل الفرن العالى إلى صورة عنصرية (فوسفور) والذى يذوب بدوره فى المعدن السائل ، وعلى ذلك يتم تحديد نسبة الفوسفور فى حديد زهر التماسيح بناء على نوعية الخامات الأولية المستخدمة فى شحنة الفرن العالى .

ويتم تقسيم نوعيات زهر التماسيح المنتج بناء على درجة احتوائه على الفوسفور إلى أربعة أنواع كما هو موضح بجدول رقم (٦) وهى كما يلى :

أنواع زهر التماسيح	الكربون ٪	السيليكون ٪	المنجنيز ٪	الكبريت ٪	الفوسفور ٪
هيماتيت	٤,٥ – ٣,٧	٣,٥ – ٠,٥	١,٢ – ٠,٥	أقل من ٠,٠٠٥	أقل من ٠,٠٠٥
منخفض الفوسفور	٤,٢ – ٣,٨	٤,٥ – ١	٢ – ٠,٥	أقل من ٠,٠٠٥	٠,٣ – ٠,٠٨
متوسط الفوسفور	٤ – ٣,٥	٣,٥ – ٢	١ – ٠,٨	أقل من ٠,٠٠٥	٠,٧ – ٠,٣
مرتفع الفوسفور	٣,٨ – ٣,٣	٤,٥ – ٢	١,٢ – ٠,٦	أقل من ٠,٠٠٥	١,٢ – ٠,٧

جدول رقم (٦)

التركيب الكيميائى للأنواع المختلفة لزهر تماسيح الأفران العالية .

١- هيماتيت ٠,٠٠٥٪ فوسفور Hematite .

٢- زهر تماسيح منخفض الفوسفور ٠,٠٨ – ٠,٣٪ Low Phosphorus .

٣- زهر تماسيح متوسط الفوسفور ٠,٣ – ٠,٧٪ Medium Phosphorus .

٤- زهر تماسيح مرتفع الفوسفور ٠,٧ – ١,٢٪ High Phosphorus .

وكل نوع من هذه النوعيات من حديد زهر التماسيح متوفرة مع أحتوائها على نسب مختلفة من كل من الكربون والسيليكون ، ومسابك الزهر قادرة على اختيار الصنف ذى التحليل المناسب لاحتياجاتها . وعموماً إذا كان مطلوباً الحصول على حديد زهر ذى كربون مرتفع فنجد أن نسبة السيليكون به تميل إلى أن تكون فى أدنى مستوى لها والعكس بالعكس . وجميع الأصناف تحتوى على نسبة منخفضة من الكبريت أقل من ٠,٠٠٥ ٪ (كحد أقصى) . وعموماً يجب أن يكون تركيب زهر التماسيح معروفاً بالتأكيد حيث إن كل نقلة Delivery يتم توريدها من زهر التماسيح تكون مزودة بشهادة تحاليل للشحنة . وتمثل نسبة حديد زهر التماسيح حوالى ١٠ – ٣٠٪ من نسبة شحنة الخامات المعدنية فى فرن الدست .

وتعتمد النسبة الدقيقة للشحنة على نوع الزهر المطلوب إنتاجه . والفوائد الرئيسية التى تعود علينا من استعمال زهر التماسيح فى شحنة فرن الدست هى :

١- الإمداد بالكربون المتحد مع المواد المعدنية الأخرى وبالإضافة إلى كمية الكربون المكتسب فى فرن الدست فإن المعدن الناتج يصبح محتوياً على النسبة الصحيحة من الكربون .

٢- الإمداد بأكبر قدر ممكن من الكمية الضرورية للسيليكون فى شحنة الفرن لتلافى الحاجة إلى ضرورة استعمال فيرو سيليكون إضافى عند شحن الفرن .

٣- تخفيض نسبة الكبريت فى شحنة الفرن وليمنع الكبريت فى المعدن المنصهر من الأرتفاع إلى مستويات خطيرة .

٤- لضمان أن نسبة الفوسفور فى شحنة الفرن لاتزيد عن الحدود القصوى مع الأخذ فى الاعتبار كمية الفوسفور فى باقى الشحنة من الحديد الزهر المرتجع Returned وخردة الزهر المشتراه من خارج المسبك .

وعموماً فإن حديد زهر التماسيح لايوجد به غير عيب وحيد فقط ، هو أرتفاع سعره لهذا يجب استعماله بطريقة اقتصادية كلما أمكن .

ثانياً : حديد الزهر المنقى Refind Irons

وهذا هو المصدر الثانى للخامات الحديدية ذات الكربون المرتفع . وهذه النوعية يتم إنتاجها عموماً فى أفران الدست أو الأفران الكهربية Electric Furnaces من شحنات تحتوى على ٥٠٪ أو أكثر فى الشحنة عبارة عن خردة صلب Steel Scrap أما باقى الشحنة فهى عبارة عن تماسيح زهر أو خردة حديد زهر مناسبة . وتركيب هذه النوعية من الزهر يكون مشابهاً لنوعيات الحديد الزهر التماسيح ، التى تحتوى نسبة منخفضة من الفوسفور والتى تحتوى على أقل من ٠٫٠٥٪ كبريت ، وتحتوى على فوسفور بنسبة بين ٠٫١ - ٠٫٢٪ وتختلف هذه الأنواع عن زهر التماسيح الناتج من الأفران العالية قليلاً (النوع المنخفض الفوسفور) فى إنها ذات محتوى كربونى أقل نسبياً حيث يصل إلى ٢٫٦٪ كما أن بعض العناصر السبائكية قد تدخل فى تركيبها مثل الكروم والنيكل . وسعر هذا النوع من الزهر يكون مرتفعاً مثل زهر الأفران العالية ؛ ولهذا يجب استعماله بطريقة اقتصادية كلما أمكن ، وعلى أية حال فإنه باستعمال حديد زهر منقى Refined فإن بعض المسابك التى لديها طرق ضبط ومراقبة جودة متواضعة تكون قادرة على إنتاج أنواع من الحديد الزهر ذات جودة أداء عالية High duty Iron ، وكما فى حديد زهر التماسيح فإن كل نقلة يتم توريدها من الزهر المنقى Refined لابد أن تتواجد معها شهادة تحليل تقريبية للعناصر من المورد نفسه .

٢- الخامات الحديدية ذات نسبة الكربون المتوسطة

Medium Carbon Malerials

تعتبر خردة الحديد الزهر Cast Iron Scrap من الخامات ذات المدى الواسع والتى تحتوى على نسبة متوسطة من الكربون . وأفضل مصدر لخردة حديد الزهر بدون شك هو مرتجعات المسبك نفسه من الزهر حيث إن تركيبها يكون معروفاً ومناسباً للمسبك نفسه .

نوع الخردة	الكربون٪	السيليكون٪	المنجنيز ٪	الكبريت٪	الفوسفور ٪
الخردة ذات المقاطع الرفيعة Light Sections Scrap	٣.٤ – ٣.٢	٣ – ٢.٥	٠.٧ – ٠.٥	٠.١٥ – ٠.١	١.٢ – ١
خردة النسيج والماكينات Textile & machinery scrap	٣.٣ – ٣.١	٢.٢ – ١.٨	٠.٧ – ٠.٥	٠.١٥ – ٠.١	١ – ٠.٧
موتورات المركبات (السيارات) Automobile engine	٣.٣ – ٣.١	٢.٢ – ٢	٠.٨ – ٠.٥	٠.١٥ – ٠.٠٨	حتى – ٠.٢
كراسى السكك الحديدية Railway chair	٣.٣ – ٢.٨	٢.٥ – ١.٥	أقل من ٠.٥	أقل من ٠.٢٥	١.٥ – ١.٠
قوالب صب الكتل المعدة للتشكيل Ingot mouled	٣.٨ – ٣.٥	١.٨ – ١.٤	١ – ٠.٥	٠.٠٨	حتى ٠.١
الزهر الطروق ذو القلب الأسود Blackheart malleable Scrap	٣ – ٢.٢	١.٦ – ١.٢	٠.٦ – ٠.٣	٠.١٨ – ٠.٠٨	٠.٠٦
الزهر الطروق ذو القلب الأبيض White heart malleable Scrap	٢.٥ – ٠.٢	٠.٨ – ٠.٣	٠.٣ – ٠.٢	٠.٢٥ – ٠.١٥	٠.٠٦

جدول رقم (٧) التركيب الكيميائى للأنواع المختلفة لخردة حديد الزهر.

وهذه الخامات يجب استخدامها في شحنة المعدن بأكبر قدر ممكن وبنفس معدلات توافرها . وحتى في حالة استعمال الخردة المرتجعة Return كلها بالكامل ، فإنه من الممكن شراء خردة إضافية وهذه الخردة متوفرة في عدة أشكال يسهل التعرف عليها وهي موضحة بجدول (٧) .

والخردة ذات المقاطع الرفيعة والتي لايزيد سمكها عن ٦ مم والتي تتكون من المواسير Pipes ومزاريب مجاري مياه الأمطار Rain Water Gutters والمسبوكات المشعة للحرارة Rediator Castings وألواح الأفران Stove plates وغيرها . ويجب التعامل مع هذه الخردة بحذر بسبب احتوائها على نسبة مرتفعة من الفوسفور .

أما موتورات السيارات Automobile Engines الخردة فمن السهل التعرف عليها بالنظر ودائماً مايتم توريدها على شكل موتور كامل بصندوق التروس Gear Boxes ، ولهذا السبب فإن استعمالها يكون مناسباً جداً في الأفران الواسعة حيث لايستنفذ الوقت اللازم لتكسيرها عند استعمالها في الأفران الصغيرة . حيث يتم شحنها بالكامل في الأفران الكبيرة مع الأخذ في الاعتبار حقيقة أنه قد يحتوى على مايقارب ٢٥٪ من وزنها عبارة عن صلب والباقي زهر . بالإضافة إلى احتمالية أن تكون ملوثة بمعادن غير حديدية مثل الألومنيوم الموجود بالكباسات Pistons وفتحات الدخول المتعددة وأيضاً النحاس الموجود في وصلات التبريد بالمياه Water Cooling Connections .

وهناك نوعان من خردة حديد الزهر المطروق Malleable Scrap متوفرة لدى تجار الخردة ولكن ليست بكميات كبيرة على وجه العموم وهذه الخردة لايمكن فصلها لوحدها ويفضل خلطها مع الأنواع الأخرى من الخردة في شحنة الفرن .

كراسي السكك الحديدية Railways - Chairs من السهل التعرف عليها . كما أن شكلها وحجمها تتناسب تماماً مع أفران الدست ، وعند استعمال هذه النوعية يجب أن تأخذ الحذر من ارتفاع نسبة كلاً من الكبريت والفوسفور حيث نجد أن نسبة الفوسفور حوالي ١.٨ – ٢٪ .

خردة قوالب صب الكتل المعدة للتشكيل Ingot Moulds يمكن تمييزها بمقطعها السميك مع استقامة أسطحها المتوازية والتي عادة مايكون أحد جوانبها مشروخاً أو مشقوقاً .

أما المصدر الأخير من خردة الحديد الزهر فهو مايأتى من ناتج المخارط Turnings وناتج خراطة التجاويف (المثاقيب) Borings وهذه الخردة هى أرخص Cheap نوع من أنواع الخردة . بالإضافة إلى أنها أفضل من ناحية الاستخدام Best utilized فى الأفران الكهربية ؛ على الرغم من أنها نجحت بدرجات متفاوتة عند استخدامها فى أفران الدست . أما عند استخدامها فى أفران الدست فإنه يجب تعبئتها Packing فى علب من الصفيح محكمة الغلق Canisters أو من الأفضل تشكيلها فى قوالب Briquetted ويجب ألا تزيد عن نسبة ٢٠٪ من شحنة الفرن . ونظراً لارتفاع المساحة السطحية للخراطة Swarf فإن الفقد الناتج عن الأكسدة والميل لاكتساب الكبريت يصبحان فى هذه الخردة أكبر وأعلى من الحالة العادية .

٣- الخامات الحديدية ذات نسبة الكربون المنخفضة
Low Carbon Materials

تعتبر خردة الصلب هى المصدر الأعظم للخردة ذات الكربون المنخفض ، وإلى جانب انخفاض نسبة الكربون فإن نسبة السيليكون تكون أيضاً منخفضة ، كما أن نسبة الكبريت والفوسفور عادة ماتكون ٠٥ . ٠٪ . هناك العديد من أنواع الخردة الصلب ولذلك يجب أن يتم اختيارها بحذر وعناية ؛ فمثلاً يجب التأكد من أن خردة الصلب التى يتم توريدها بهدف إنتاج حديد زهر رمادى Grey أو طروق Malleable لاتحتوى على عناصر سبائكية Alloy eEements مثل الكروم Chromium أو النيكل Nickel أو التنجستين Tungsten وغيرها والتى قد يكون لها تأثير ضار أو مؤذ Injurious على المعدن الناتج .

إن خردة الصلب ذات المقاطع الرفيعة مثل الصاج Sheet أو السلك Wire أو البالات Bales وغيرها يجب تجنبها بالمرة كلما أمكن ذلك . حيث أنه يكون عرضة Liable to للتأكسد بشدة Severely oxidized فى الفرن كما أن عملية اكتسابه للكربون تكون محدودة Restrict كما أنه يؤدى إلى زيادة الفقد فى كل من السيليكون والمنجنيز ومن ناحية أخرى فإن خردة الصلب ذات السمك الكبير يجب تجنبها أيضاً كلما أمكن حيث انها قد تصل إلى منطقة الودنات قبل أن تنصهر بالكامل . وكحالة مثالية فإن خردة الصلب يجب أن تكون ذات حجم مناسب وخالية من الصدأ Free From Rust والقشور Scale ويجب ألا يقل سمكها

Thickness عن ٦ مم ولاتزيد عن ٧٥ مم .

ومع ذلك فـإنه من المعـتـاد عـمل مـقـارنة بين كل من العـرض Availability والطلب Desirability وبالطبع مع الأخذ فى الاعتبار أسعار الخامات Price .

وخردة الصلب عادة ماتكون أرخص الخامات المتاحة للصهر فى فرن الدست ، ولهذا يجب استعمالها بأقصى درجة ممكنة تسمح بها عملية تشغيل الفرن . ونسبة خردة الصلب فى شحنة الفرن تعتمد على المواد الأخرى التى تتكون منها الشحنة . فعلى سبيل المثال إذا كانت الشحنة تحتوى على زهر التماسيح الناتج من الأفران العالية (حيث نسبة الكربون والسيليكون عالية) فإن نسبة خردة الصلب المستعملة فى هذه الحالة تكون أكبر بالطبع مما لو كانت شحنة الفرن تحتوى على زهر منقى Refined ذات نسبة كربون منخفضة .

٤- السبائك Alloys :

تشمل المجموعة الرابعة من خامات الفرن كلاً من السبائك والسبائك الحديدية Ferro Alloys والتى قد تستعمل كجزء من شحنة الفرن لضبط Regulation مستويات Levels السيليكون والمنجنيز فى الزهر كما يحدث فى حالة إضافة بعض العناصر مثل النيكل والكروم والموليبدنم Molybdenum والنحاس Cupper وغيرها ، والتى تستعمل أحياناً لتعديل Modify خواص الحديد .

والسبائك التى تضاف لشحنة الفرن تختلف وتتنوع بدايةً من السبائك الحديدية المخففة نسبياً Dilute مثل الحديد الزهر الفضى Silvery Pig Iron والذى يحتوى على ١٠ - ١٤٪ سيليكون أو الحديد الزهر المنجنيزى Manganes Pig Iron وانتهاء بالخامات ذات التركيز المرتفع Highly Concentrated مثل السبائك الحديدية التى تحتوى على ٧٥ - ٨٠٪ من مواد التسابك . إن عملية اختيار هذه الخامات للتشغيل تعتمد على تكاليفها Cost وعلى درجة ملائمتها Convenience للغرض .

والحديد الزهر الفضى Silvery متوافر على شكل زهر مسبوك ، وعند استعماله فى الأفران الصغيرة فإنه يجب تكسيره إلى قطع ذات أوزان مضبوطة تماماً . أما السبائك الحديدية المركزة فإنه يتم صبها على شكل بلاطات كبيرة Large Slabs ويتم بيعها بأحجام مختلفة حسب الطلب . وفى مثل هذه الحالات فيجب أن تكون السبائك التى تستعمل فى

أفـران الدست ذات أحـجـام مناسـبـة لإمكان وزنها بدقـة ، وفى نفس الوقت يجب ألا تكون صغيرة جداً حتى لاتتطاير فى الهواء أثناء شحن الفرن .

والطريقـة الشـائعـة لاسـتـعـمـال السبائك هى طريقة القوالب Briquettes حـيـث عن طريقها يمكن إلغاء عملية وزن المقادير الصغيرة من السبائك . وكل قـالب يزن مقداراً ثابتاً من السبيكة ، ويكون عموماً كيلو جرام واحد ؛ وعادة مايتم تحزيز القالب Notched لتسهيل كسره إلى نصفين إذا كان ذلك مطلوباً . وعلى وجه العموم فبالنسبة لأى خامة تدخل فرن الدست يجب ألا يزيد طولها عن ثلث القطر الداخلى للفرن . وفى حـالة الأسـيـاخ Bars أو القضبان Rails فإن طولها هو المقياس . أما فى حالة الألواح المستوية Flat Plates فإن المقاس هو وتر اللوح The Diagonal .

وفى حالة مايتم شحن ألواح مستوية من الصلب فإنه لايجب شحنه بنفس النسبة فى الفرن ، حيث إنه يقوم بإعاقة Restrict حركة الغازات المتصاعدة Upward Gas فى بئر الفرن Shaft .

التغيرات التى تحدث فى التركيب أثناء الصهر
Composition Changes During Melting

عند حسـاب النسب المئوية للأنـواع المختلفة من الخـامات المعدنيـة التى سـتدخل فى شحنة الفرن فإنه من الضرورى معرفة التغيرات التى ستحدث فى تركيبها أثناء عملية الصهر . والجدول رقم (٨) يوضح المؤشرات Indication التقريبية التى ستحدث (التغيرات المتوقـعة) عند تشـغيل فرن الدسـت العـادي ذى البطانـة الحـامضـيـة والهـواء البـارد . فنسبـة الكربون دائمـا مـاتزيد حيث يقـوم المعدن بإذابـة Dissolve بـعـض الكربـون من الكوك عند تساقطه على شكل نقط Drops خلال منطقة الصهر فى طريقه إلى خزنة المعدن Cupola Well . وهناك العـديد من العـوامل التى تؤثر على كـمـيـة الكربون التى يمتـصـهـا المعدن Carbon Pick-up أثناء الصهر .

جدول (٨)

التغير فى التركيب الكيميائى أثناء تشغيل فرن الدست ذات الهواء البارد

الكربون	اكتساب	يعتمد على نسب الكربون والسيليكون والفوسفور فى الشحنة
السيليكون	فقد	١٠ – ٣٠٪ من نسبته فى الشحنة
المنجنيز	فقد	٢٠ – ٣٠٪ من نسبته فى الشحنة
الكبريت	اكتساب	١٠ – ٦٠ ٪ من نسبته فى الشحنة
الفوسفور	لايتغير	———

وذلك مثل نسبة الكربون الأولية فى الشحنة ، وأيضاً نسبة السيليكون والفوسفور فى الشحنة وأيضاً طريقة تصريف المعدن من الفرن Tapping Method وأيضاً على درجة القاعدية فى الخبث Slag Basicity وأيضاً درجة حرارة المعدن . وبالنسبة لطريقة التصريف المستمر للمعدن مع تصريف الخبث من الأمام Continuously Tapped Front Slagged Cupolas فإنه يتم تطبيق المعادلة التالية للحصول على نسبة الكربون المضبوطة عند فتحة الصب :

$$\text{TC\% at spout} = 2.4 + \frac{\text{TC\% in charge}}{2} - \frac{(\text{Si\%} + \text{P\%})\text{ at spout}}{4}$$

النسبة المئوية للكربون (عند المصب) = ٢,٤ + (الكربون فى الشحنة ٪) / ٢ – ((الفوسفور ٪ + السيليكون ٪) عند المصب) / ٤

وهذه المعادلة لايمكن تطبيقها فى حالة الأفران ذات الصب المتقطع . لكن عموماً يمكن أن نتوقع نسبة أكبر للكربون من تلك النسبة التى نحصل عليها من هذه المعادلة . وأثناء عملية الصهر فى الدست عادة مايحدث أكسدة Oxidation للسيليكون ، وعلى وجه العموم عادة ماتكون نسبة الأكسدة تنحصر بين ١٠ – ٣٠٪ من مستوى السيليكون المشحون وهذا الوضع يتغير اعتماداً على الأسلوب الفنى للصهر Melting Technique ، وعلى سبيل المثال فإن عملية الفقد تنخفض وتقل إذا كانت درجة حرارة المعدن عند فتحة الصب مرتفعة، بينما وعلى وجه العموم يزداد الفقد فى السيليكون عند زيادة نسبة الصلب فى الشحنة .

وكما فى السيليكون فإن المنجنيز يُفْقَد أيضاً أثناء الصهر بسبب الأكسدة ، وعموماً

تتراوح نسبته بين ٢٠ – ٣٠٪ من كمية المنجنيز المشحون على الرغم من اختلافها بسبب أسلوب الصهر .

ونسبة الكبريت Sulphur فى الزهر عادة ماتزيد فى الأفران ذات البطانة الحامضية وهذه الزيادة تعتمد على عدة عوامل منها نسبة الكوك فى شحنة الفرن ودرجة قاعدية الجلخ وعلى نسبة الصلب فى الشحنة وأيضاً على نسبة الكبريت فى فحم الكوك . وليس هناك طريقة متاحة يمكن الاعتماد عليها للتنبؤ Predicting بنسبة الكبريت عند فتحة الصب ؛ لكن عملياً يمكن أن تكون نسبة الكبريت المكتسب قليلة فى حدود ١٠٪ أو كبيرة جداً لتصل إلى حوالى ٨٠ – ٩٠٪ من نسبة الكبريت فى الشحنة . ولإعداد شحنة الفرن فإنه من الواجب توافر بعض المعلومات عن عمليات التشغيل السابقة للفرن ، وتحت ظروف تشغيل مشابهة لتحديد مقدار الكبريت المكتسب .

أما الفوسفور Phosphorous فإنه لايحدث له تغير ويظل بنفس الكمية الموجودة فى الشحنة وقد يحدث له زيادة بسيطة ولكنها غير ملحوظة فى معظم الأحيان .

الشحنة النموذجية لفرن الدست Typical Cupola Charge

يتم توصيف مسبوكات الزهر Specification التى يتم تصنيعها فى بريطانيا إلى اصناف تفصيلية Particular Grades ، ويتم تحديد هذه الأصناف بناء على مقاومة الشد Tensile Strength للزهر بعد صبه على شكل قضيب قطره ٣٠ مم (١.٢ بوصة) وحديد الزهر المسمى ٢٢٠ Grade 220 تكون مقاومته للشد مقدارها 220 N/mm^2 والصنف Grade 260 تكون مقاومته للشد مقدارها 260 N/mm^2 . وتركيب المعدن يحدد ويقرر بشكل كبير مقدار مقاومته للشد . وقد أوضح جرين هل Greenhill حدود التراكيب المطلوبة لإنتاج الأصناف التفصيلية من الزهر الرمادى Grey Iron . وهذا التقرير يحتوى أيضاً على المخاليط النموذجية لشحنات الفرن والمستعملة لانتاج الأصناف المختلفة من الزهر .

وحديد الزهر رتبة ١٧ يكون تركيبه على النحو التالى :

الكربون الكلى ٣ – ٣.٢٪

السيليكون ١.٦ – ١.٩٪

المنجنيز ٦ , ٠ – ٨ , ٠٪

الكبريت الحد الأقصى ١٥ , ٠٪

الفوسفور الحد الأقصى ٣ , ٠٪

وعلى هذا تكون الشحنة المثالية لفرن الدست كما يلى :

زهر تماسيح منخفض الفوسفور ٢٥٪

خردة صلب ٢٥٪

خردة مسبك رتبة ١٧ .... ٣٥٪

خردة زهر مسبوك خاصة بالسيارات ١٥٪

وعند اختيار هذا الخليط من الخامات ، فيجب أن نضع فى الاعتبار التغييرات التى يمكن حدوثها فى التركيب والمتوقعة أثناء عملية الصهر .

كيفية حساب شحنة فرن الدست Cupola-Charge Calculation

بعد كل هذا يخطر ببالنا سؤال عن كيفية عمل حسابات شحنة الفرن ؟ . والجدول رقم (٩) يبين مثالاً بسيطاً لشحنة تحتوى على ٥٠٪ زهر تماسيح ، نسبة السيليكون فيها ٢٪ وعلى ٥٠٪ خردة صلب نسبة السيليكون فيها ١ , ٠٪ وعند إضافة كمية متساوية من الصلب والزهر فإن نسبة السيليكون التى قيمتها ٢٪ فى زهر التماسيح تنخفض إلى ١٪ بسبب وجود خردة الصلب ، ولذلك يمكن القول بأن زهر التماسيح قد ساهم Contributes بنسبة ١٪ من النسبة النهائية للسيليكون الموجودة فى الصلب ١ , ٠٪ تنخفض إلى ٥ . ٠٪ بسبب

جدول (٩)
حساب نسبة السيليكون فى الشحنة (١)

الشحنة	السيليكون ٪	نسبة مساهمة الشحنة
٥٠٪ حديد تماسيح	٢.٠	٢.٠ × ٠.٥ = ١.٠٠ ٪
٥٠٪ خردة صلب	٠.١	٠.١ × ٠.٥ = ٠.٠٥ ٪
		الاجمالى = ١.٠٥ ٪

إضافة زهر التماسيح ، وبذلك أصبح الصلب يشارك بنسبة ٠٫٠٠٥٪ من النسبة النهائية للسيليكون فى تركيب الشحنة . أما عملية تحديد الوزن الحقيقى للسيليكون فى الشحنة فيتم بصورة تلقائية وذلك بضرب (نسبة السيليكون فى الخام) × (نسبة الخام فى شحنة الفرن) وقسمة الناتج على ١٠٠٪ ثم تجمع النسبتين معاً لنحصل على النسبة النهائية للسيليكون فى الشحنة وهى ١٫٠٠٥٪ وبنفس الطريقة يتم تقدير نسب بقية العناصر فى الشحنة .

وبالطبع ستصبح عملية تحديد النسب أصعب فى حالة ما إذا كانت نسبة زهر التماسيح يمثل ٦٥٪ من إجمالى الشحنة ، حيث يحتوى على سيليكون بنسبة ١٫٨٪ بينما باقى الشحنة ٣٥٪ عبارة عن خردة صلب تحتوى على سيليكون بنسبة ٠٫١٪ كما هو موضح بالجدول رقم (١٠) ولكن يمكن استعمال نفس الطريقة السابقة .

جدول (١٠)

حساب نسبة السيليكون فى الشحنة (٢)

الشحنة	السيليكون ٪	نسبة مساهمة الشحنة
٦٥٪ حديد تماسيح	١٫٨	١٫٨ × ٠٫٦٥ = ١٫١٧٪
٣٥٪ خردة صلب	٠٫١	٠٫١ × ٠٫٣٥ = ٠٫٠٣٥٪
		الاجمالى = ١٫٢٠٥٪

وإذا كانت شحنة الفرن مكونة مثلا من خمس خامات ، وإذا كانت كل خامة تحتوى على الكربون والسيليكون والمنجنيز والكبريت والفوسفور ، فإن عملية حساب النسب للعناصر المختلفة ستكون أكثر صعوبة وأكثر طولا ، لكن يمكن تسهيل هذه الخطوات ، وذلك باستعمال بعض الجداول كما هو موضح فى جدولى رقم (١١) ، (١٢) .

جدول رقم (١١) حسابات الشحنة الرئيسية (أ)

نسبة العنصر فى الخامة المستعملة	نسبة الخامة إلى إجمالى الشحنة															
	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٣٥	٤٠	٤٥	٥٠	٥٥	٦٠	٦٥	٧٠	٧٥	٨٠
	نسبة العنصر فى إجمالى الشحنة															
٠,١		٠,٠١	٠,٠٢	٠,٠٢	٠,٠٣	٠,٠٣	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠٦	٠,٠٦	٠,٠٧	٠,٠٧	٠,٠٨	٠,٠٨
٠,٢	٠,٠١	٠,٠٢	٠,٠٣	٠,٠٤	٠,٠٥	٠,٠٦	٠,٠٧	٠,٠٨	٠,٠٩	٠,١٠	٠,١١	٠,١٢	٠,١٣	٠,١٤	٠,١٥	٠,١٦
٠,٣		٠,٠٣	٠,٠٥	٠,٠٦	٠,٠٨	٠,٠٩	٠,١١	٠,١٢	٠,١٤	٠,١٥	٠,١٧	٠,١٨	٠,٢٠	٠,٢١	٠,٢٣	٠,٢٤
٠,٤	٠,٠٢	٠,٠٤	٠,٠٦	٠,٠٨	٠,١٠	٠,١٢	٠,١٤	٠,١٦	٠,١٨	٠,٢٠	٠,٢٢	٠,٢٤	٠,٢٦	٠,٢٨	٠,٣٠	٠,٣٢
٠,٥		٠,٠٥	٠,٠٨	٠,١٠	٠,١٣	٠,١٥	٠,١٨	٠,٢٠	٠,٢٣	٠,٢٥	٠,٢٨	٠,٣٠	٠,٣٣	٠,٣٥	٠,٣٨	٠,٤٠
٠,٦	٠,٠٣	٠,٠٦	٠,٠٩	٠,١٢	٠,١٥	٠,١٨	٠,٢١	٠,٢٤	٠,٢٧	٠,٣٠	٠,٣٣	٠,٣٦	٠,٣٩	٠,٤٢	٠,٤٥	٠,٤٨
٠,٧		٠,٠٧	٠,١١	٠,١٤	٠,١٨	٠,٢١	٠,٢٥	٠,٢٨	٠,٣٢	٠,٣٥	٠,٣٩	٠,٤٢	٠,٤٦	٠,٤٩	٠,٥٣	٠,٥٦
٠,٨	٠,٠٤	٠,٠٨	٠,١٢	٠,١٦	٠,٢٠	٠,٢٤	٠,٢٨	٠,٣٢	٠,٣٦	٠,٤٠	٠,٤٤	٠,٤٨	٠,٥٢	٠,٥٦	٠,٦٠	٠,٦٤
٠,٩		٠,٠٩	٠,١٤	٠,١٨	٠,٢٣	٠,٢٧	٠,٣٢	٠,٣٦	٠,٤١	٠,٤٥	٠,٥٠	٠,٥٤	٠,٥٩	٠,٦٣	٠,٦٨	٠,٧٢
١,٠	٠,٠٥	٠,١	٠,١٥	٠,٢٠	٠,٢٥	٠,٣٠	٠,٣٥	٠,٤٠	٠,٤٥	٠,٥٠	٠,٥٥	٠,٦٠	٠,٦٥	٠,٧٠	٠,٧٥	٠,٨٠
١,١		٠,١١	٠,١٧	٠,٢٢	٠,٢٨	٠,٣٣	٠,٣٩	٠,٤٤	٠,٥٠	٠,٥٥	٠,٦١	٠,٦٦	٠,٧٢	٠,٧٧	٠,٨٣	٠,٨٨
١,٢	٠,٠٦	٠,١٢	٠,١٨	٠,٢٤	٠,٣٠	٠,٣٦	٠,٤٢	٠,٤٨	٠,٥٤	٠,٦٠	٠,٦٦	٠,٧٢	٠,٧٨	٠,٨٤	٠,٩٠	٠,٩٦
١,٣		٠,١٣	٠,٢٠	٠,٢٦	٠,٣٣	٠,٣٩	٠,٤٦	٠,٥٢	٠,٥٩	٠,٦٥	٠,٧٢	٠,٧٨	٠,٨٥	٠,٩١	٠,٩٨	١,٠٤
١,٤	٠,٠٧	٠,١٤	٠,٢١	٠,٢٨	٠,٣٥	٠,٤٢	٠,٤٩	٠,٥٦	٠,٦٣	٠,٧٠	٠,٧٧	٠,٨٤	٠,٩١	٠,٩٨	١,٠٥	١,١٢
١,٥		٠,١٥	٠,٢٣	٠,٣٠	٠,٣٨	٠,٤٥	٠,٥٣	٠,٦٠	٠,٦٨	٠,٧٥	٠,٨٣	٠,٩٠	٠,٩٨	١,٠٥	١,١٣	١,٢٠
١,٦	٠,٠٨	٠,١٦	٠,٢٤	٠,٣٢	٠,٤٠	٠,٤٨	٠,٥٦	٠,٦٤	٠,٧٢	٠,٨٠	٠,٨٨	٠,٩٦	١,٠٤	١,١٢	١,٢٠	١,٢٨
١,٧		٠,١٧	٠,٢٦	٠,٣٤	٠,٤٣	٠,٥١	٠,٦٠	٠,٦٨	٠,٧٧	٠,٨٥	٠,٩٤	١,٠٢	١,١١	١,١٩	١,٢٨	١,٣٦
١,٨	٠,٠٩	٠,١٨	٠,٢٧	٠,٣٦	٠,٤٥	٠,٥٤	٠,٦٣	٠,٧٢	٠,٨١	٠,٩٠	٠,٩٩	١,٠٨	١,١٧	١,٢٦	١,٣٥	١,٤٤
١,٩		٠,١٩	٠,٢٩	٠,٣٨	٠,٤٨	٠,٥٧	٠,٦٧	٠,٧٦	٠,٨٦	٠,٩٥	١,٠٥	١,١٤	١,٢٤	١,٣٣	١,٤٣	١,٥٢
٢,٠	٠,١٠	٠,٢٠	٠,٣٠	٠,٤٠	٠,٥٠	٠,٦٠	٠,٧٠	٠,٨٠	٠,٩٠	١,٠٠	١,١٠	١,٢٠	١,٣٠	١,٤٠	١,٥٠	١,٦٠

جدول رقم (١١) حسابات الشحنة الرئيسية (ب) (بقية)

٢,١		٠,٢١	٠,٣٢	٠,٤٢	٠,٥٣	٠,٦٣	٠,٧٤	٠,٨٤	٠,٩٥	١,٠٥	١,١٦	١,٢٦	١,٣٧	١,٤٧	١,٥٨	١,٦٨
٢,٢	٠,١١	٠,٢٢	٠,٣٣	٠,٤٤	٠,٥٥	٠,٦٦	٠,٧٧	٠,٨٨	٠,٩٩	١,١٠	١,٢١	١,٣٢	١,٤٣	١,٥٤	١,٦٥	١,٧٦
٢,٣		٠,٢٣	٠,٣٥	٠,٤٦	٠,٥٨	٠,٦٩	٠,٨١	٠,٩٢	١,٠٤	١,١٥	١,٢٧	١,٣٨	١,٥٠	١,٦١	١,٧٣	١,٨٤
٢,٤	٠,١٢	٠,٢٤	٠,٣٦	٠,٤٨	٠,٦٠	٠,٧٢	٠,٨٤	٠,٩٦	١,٠٨	١,٢٠	١,٣٢	١,٤٤	١,٥٦	١,٦٨	١,٨٠	١,٩٢
٢,٥		٠,٢٥	٠,٣٨	٠,٥٠	٠,٦٣	٠,٧٥	٠,٨٨	١,٠٠	١,١٣	١,٢٥	١,٣٨	١,٥٠	١,٦٣	١,٧٥	١,٨٨	٢,٠٠
٢,٦	٠,١٣	٠,٢٦	٠,٣٩	٠,٥٢	٠,٦٥	٠,٧٨	٠,٩١	١,٠٤	١,١٧	١,٣٠	١,٤٣	١,٥٦	١,٦٩	١,٨٢	١,٩٥	٢,٠٨
٢,٧		٠,٢٧	٠,٤١	٠,٥٤	٠,٦٨	٠,٨١	٠,٩٥	١,٠٨	١,٢٢	١,٣٥	١,٤٩	١,٦٢	١,٧٦	١,٨٩	٢,٠٣	٢,١٦
٢,٨	٠,١٤	٠,٢٨	٠,٤٢	٠,٥٦	٠,٧٠	٠,٨٤	٠,٩٨	١,١٢	١,٢٦	١,٤٠	١,٥٤	١,٦٨	١,٨٢	١,٩٦	٢,١٠	٢,٢٤
٢,٩		٠,٢٩	٠,٤٤	٠,٥٨	٠,٧٣	٠,٨٧	١,٠٢	١,١٦	١,٣١	١,٤٥	١,٦٠	١,٧٤	١,٨٩	٢,٠٣	٢,١٨	٢,٣٢
٣,٠	٠,١٥	٠,٣٠	٠,٤٥	٠,٦٠	٠,٧٥	٠,٩٠	١,٠٥	١,٢٠	١,٣٥	١,٥٠	١,٦٥	١,٨٠	١,٩٥	٢,١٠	٢,٢٥	٢,٤٠
٣,١		٠,٣١	٠,٤٧	٠,٦٢	٠,٧٨	٠,٩٣	١,٠٩	١,٢٤	١,٤٠	١,٥٥	١,٧١	١,٨٦	٢,٠٢	٢,١٧	٢,٣٣	٢,٤٨
٣,٢	٠,١٦	٠,٣٢	٠,٤٨	٠,٦٤	٠,٨٠	٠,٩٦	١,١٢	١,٢٨	١,٤٤	١,٦٠	١,٧٦	١,٩٢	٢,٠٨	٢,٢٤	٢,٤٠	٢,٥٦
٣,٣		٠,٣٣	٠,٤٩	٠,٦٦	٠,٨٣	٠,٩٩	١,١٦	١,٣٢	١,٤٩	١,٦٥	١,٨٢	١,٩٨	٢,١٥	٢,٣١	٢,٤٨	٢,٦٤
٣,٤	٠,١٧	٠,٣٤	٠,٥١	٠,٦٨	٠,٨٥	١,٠٢	١,١٩	١,٣٦	١,٥٣	١,٧٠	١,٨٧	٢,٠٤	٢,٢١	٢,٣٨	٢,٥٥	٢,٧٢
٣,٥		٠,٣٥	٠,٥٣	٠,٧٠	٠,٨٨	١,٠٥	١,٢٣	١,٤٠	١,٥٨	١,٧٥	١,٩٣	٢,١٠	٢,٢٨	٢,٤٥	٢,٦٣	٢,٨٠
٣,٦	٠,١٨	٠,٣٦	٠,٥٤	٠,٧٢	٠,٩٠	١,٠٨	١,٢٦	١,٤٤	١,٦٢	١,٨٠	١,٩٨	٢,١٦	٢,٣٤	٢,٥٢	٢,٧٠	٢,٨٨
٣,٧		٠,٣٧	٠,٥٦	٠,٧٤	٠,٩٣	١,١١	١,٣٠	١,٤٨	١,٦٧	١,٨٥	٢,٠٤	٢,٢٢	٢,٤١	٢,٥٩	٢,٧٨	٢,٩٦
٣,٨	٠,١٩	٠,٣٨	٠,٥٧	٠,٧٦	٠,٩٥	١,١٤	١,٣٣	١,٥٢	١,٧١	١,٩٠	٢,٠٩	٢,٢٨	٢,٤٧	٢,٦٦	٢,٨٥	٣,٠٤
٣,٩		٠,٣٩	٠,٥٩	٠,٧٨	٠,٩٨	١,١٧	١,٣٧	١,٥٦	١,٧٦	١,٩٥	٢,١٥	٢,٣٤	٢,٥٤	٢,٧٣	٢,٩٣	٣,١٢
٤,٠	٠,٢٠	٠,٤٠	٠,٦٠	٠,٨٠	١,٠٠	١,٢٠	١,٤٠	١,٦٠	١,٨٠	٢,٠٠	٢,٢٠	٢,٤٠	٢,٦٠	٢,٨٠	٣,٠٠	٣,٢٠
٤,١		٠,٤١	٠,٦٢	٠,٨٢	١,٠٣	١,٢٣	١,٤٤	١,٦٤	١,٨٥	٢,٠٥	٢,٢٦	٢,٤٦	٢,٦٧	٢,٨٧	٣,٠٨	٣,٢٨
٤,٢	٠,٢١	٠,٤٢	٠,٦٣	٠,٨٤	١,٠٥	١,٢٦	١,٤٧	١,٦٨	١,٨٩	٢,١٠	٢,٣١	٢,٥٢	٢,٧٣	٢,٩٤	٣,١٥	٣,٣٦
٤,٣		٠,٤٣	٠,٦٥	٠,٨٦	١,٠٨	١,٢٩	١,٥١	١,٧٢	١,٩٤	٢,١٥	٢,٣٧	٢,٥٨	٢,٨٠	٣,٠١	٣,٢٣	٣,٤٤
٤,٤	٠,٢٢	٠,٤٤	٠,٦٦	٠,٨٨	١,١٠	١,٣٢	١,٥٤	١,٧٦	١,٩٨	٢,٢٠	٢,٤٢	٢,٦٤	٢,٨٦	٣,٠٨	٣,٣٠	٣,٥٢
٤,٥		٠,٤٥	٠,٦٨	٠,٩٠	١,١٣	١,٣٥	١,٥٨	١,٨٠	٢,٠٣	٢,٢٥	٢,٤٨	٢,٧٠	٢,٩٣	٣,١٥	٣,٣٨	٣,٦٠
٤,٦	٠,٢٣	٠,٤٦	٠,٦٩	٠,٩٢	١,١٥	١,٣٨	١,٦١	١,٨٤	٢,٠٧	٢,٣٠	٢,٥٣	٢,٧٦	٢,٩٩	٣,٢٢	٣,٤٥	٣,٦٨
٤,٧		٠,٤٧	٠,٧١	٠,٩٤	١,١٨	١,٤١	١,٦٥	١,٨٨	٢,١٢	٢,٣٥	٢,٥٩	٢,٨٢	٣,٠٦	٣,٢٩	٣,٥٣	٣,٧٦
٤,٨	٠,٢٤	٠,٤٨	٠,٧٢	٠,٩٦	١,٢٠	١,٤٤	١,٦٨	١,٩٢	٢,١٦	٢,٤٠	٢,٦٤	٢,٨٨	٣,١٢	٣,٣٦	٣,٦٠	٣,٨٤
٤,٩		٠,٤٩	٠,٧٤	٠,٩٨	١,٢٣	١,٤٧	١,٧٢	١,٩٦	٢,٢١	٢,٤٥	٢,٧٠	٢,٩٤	٣,١٩	٣,٤٣	٣,٦٨	٣,٩٢
٥,٠	٠,٢٥	٠,٥٠	٠,٧٥	١,٠٠	١,٢٥	١,٥٠	١,٧٥	٢,٠٠	٢,٢٥	٢,٥٠	٢,٧٥	٣,٠٠	٣,٢٥	٣,٥٠	٣,٧٥	٤,٠٠

جدول (١٢) حسابات إضافات السبائك المختلفة (أ)

وزن السبيكة فى كل طن	نسبة العنصر فى السبيكة										
	٤٠	٤٥	٥٠	٦٠	٦٥	٧٠	٧٥	٨٠	٨٥	٩٢	١٠٠
	نسبة الزيادة فى العنصر المضاف										
١	٠.٠٤	٠.٠٥	٠.٠٥	٠.٠٦	٠.٠٧	٠.٠٧	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.١
٢	٠.٠٨	٠.٠٩	٠.١٠	٠.١٢	٠.١٣	٠.١٤	٠.١٥	٠.١٦	٠.١٧	٠.١٨	٠.٢
٣	٠.١٢	٠.١٤	٠.١٥	٠.١٨	٠.٢٠	٠.٢١	٠.٢٣	٠.٢٤	٠.٢٦	٠.٢٨	٠.٣
٤	٠.١٦	٠.١٨	٠.٢٠	٠.٢٤	٠.٢٦	٠.٢٨	٠.٣٠	٠.٣٢	٠.٣٤	٠.٣٧	٠.٤
٥	٠.٢٠	٠.٢٣	٠.٢٥	٠.٣٠	٠.٣٣	٠.٣٥	٠.٣٨	٠.٤٠	٠.٤٣	٠.٤٦	٠.٥
٦	٠.٢٤	٠.٢٧	٠.٣٠	٠.٣٦	٠.٣٩	٠.٤٢	٠.٤٥	٠.٤٨	٠.٥١	٠.٥٥	٠.٦
٧	٠.٢٨	٠.٣٢	٠.٣٥	٠.٤٢	٠.٤٦	٠.٤٩	٠.٥٣	٠.٥٦	٠.٦٠	٠.٦٤	٠.٧
٨	٠.٣٢	٠.٣٦	٠.٤٠	٠.٤٨	٠.٥٢	٠.٥٦	٠.٦٠	٠.٦٤	٠.٦٨	٠.٧٤	٠.٨
٩	٠.٣٦	٠.٤١	٠.٤٥	٠.٥٤	٠.٥٩	٠.٦٣	٠.٦٨	٠.٧٢	٠.٧٧	٠.٨٣	٠.٩
١٠	٠.٤٠	٠.٤٥	٠.٥٠	٠.٦٠	٠.٦٥	٠.٧٠	٠.٧٥	٠.٨٠	٠.٨٥	٠.٩٢	١.٠
١١	٠.٤٤	٠.٥٠	٠.٥٥	٠.٦٦	٠.٧٢	٠.٧٧	٠.٨٣	٠.٨٨	٠.٩٤	١.٠١	١.١
١٢	٠.٤٨	٠.٥٤	٠.٦٠	٠.٧٢	٠.٧٨	٠.٨٤	٠.٩٠	٠.٩٦	١.٠٢	١.١٠	١.٢
١٣	٠.٥٢	٠.٥٩	٠.٦٥	٠.٧٨	٠.٨٥	٠.٩١	٠.٩٨	١.٠٤	١.١١	١.٢٠	١.٣
١٤	٠.٥٦	٠.٦٣	٠.٧٠	٠.٨٤	٠.٩١	٠.٩٨	١.٠٥	١.١٢	١.١٩	١.٢٩	١.٤
١٥	٠.٦٠	٠.٦٨	٠.٧٥	٠.٩٠	٠.٩٨	١.٠٥	١.١٣	١.٢٠	١.٢٨	١.٣٨	١.٥
١٦	٠.٦٤	٠.٧٢	٠.٨٠	٠.٩٦	١.٠٤	١.١٢	١.٢٠	١.٢٨	١.٣٦	١.٤٧	١.٦
١٧	٠.٦٨	٠.٧٧	٠.٨٥	١.٠٢	١.١١	١.١٩	١.٢٨	١.٣٦	١.٤٥	١.٥٦	١.٧
١٨	٠.٧٢	٠.٨١	٠.٩٠	١.٠٨	١.١٧	١.٢٦	١.٣٥	١.٤٤	١.٥٣	١.٦٦	١.٨
١٩	٠.٧٦	٠.٨٦	٠.٩٥	١.١٤	١.٢٤	١.٣٣	١.٤٣	١.٥٢	١.٦٢	١.٧٥	١.٩
٢٠	٠.٨٠	٠.٩٠	١.٠٠	١.٢٠	١.٣٠	١.٤٠	١.٥٠	١.٦٢	١.٧٠	١.٨٤	٢.٠
٢١	٠.٨٤	٠.٩٥	١.٠٥	١.٢٦	١.٣٧	١.٤٧	١.٥٨	١.٦٨	١.٧٩	١.٩٣	٢.١
٢٢	٠.٨٨	٠.٩٩	١.١٠	١.٣٢	١.٤٣	١.٥٤	١.٦٥	١.٧٦	١.٨٧	٢.٠٢	٢.٢
٢٣	٠.٩٢	١.٠٤	١.١٥	١.٣٨	١.٥٠	١.٦١	١.٧٣	١.٨٤	١.٩٦	٢,١٢	٢.٣
٢٤	٠.٩٦	١.٠٨	١.٢٠	١.٤٤	١.٥٦	١.٦٨	١.٨٠	١.٩٢	٢.٠٤	٢.٢١	٢.٤
٢٥	١.٠٠	١.١٣	١.٢٥	١.٥٠	١.٦٣	١.٧٥	١.٨٨	٢.٠٠	٢.١٣	٢.٣٠	٢.٥

جدول (١٢) حسابات إضافات السبائك المختلفة (ب) (بقية)

٢٦	١.٠٤	١.١٧	١.٣٠	١.٥٦	١.٦٩	١.٨٢	١.٩٥	٢.٠٨	٢.٢١	٢.٣٩	٢.٦
٢٧	١.٠٨	١.٢٢	١.٣٥	١.٦٢	١.٧٦	١.٨٩	٢.٠٣	٢.١٦	٢.٣٠	٢.٤٨	٢.٧
٢٨	١.١٢	١.٢٦	١.٤٠	١.٦٨	١.٨٢	١.٩٦	٢.١٠	٢.٢٤	٢.٣٨	٢.٥٨	٢.٨
٢٩	١.١٦	١.٣١	١.٤٥	١.٧٤	١.٨٩	٢.٠٣	٢.١٨	٢.٣٢	٢.٤٧	٢.٧٥	٢.٩
٣٠	١.٢٠	١.٣٥	١.٥٠	١.٨٠	١.٩٥	٢.١٠	٢.٢٥	٢.٤٠	٢.٥٥	٢.٧٦	٣.٠
٣١	١.٢٤	١.٤٠	١.٥٥	١.٨٦	٢.٠٢	٢.١٧	٢.٣٣	٢.٤٨	٢.٦٤	٢.٨٥	٣.١
٣٢	١.٢٨	١.٤٤	١.٦٠	١.٩٢	٢.٠٨	٢.٢٤	٢.٤٠	٢.٥٦	٢.٧٢	٢.٩٤	٣.٢
٣٣	١.٣٢	١.٤٩	١.٦٥	١.٩٨	٢.١٥	٢.٣١	٢.٤٨	٢.٦٤	٢.٨١	٣.٠٤	٣.٣
٣٤	١.٣٦	١.٥٣	١.٧٠	٢.٠٤	٢.٢١	٢.٣٨	٢.٥٥	٢.٧٢	٢.٨٩	٣.١٣	٣.٤
٣٥	١.٤٠	١.٥٨	١.٧٥	٢.١٠	٢.٢٨	٢.٤٥	٢.٦٣	٢.٨٠	٢.٩٦	٣.٢٢	٣.٥
٣٦	١.٤٤	١.٦٢	١.٨٠	٢.١٦	٢.٣٤	٢.٥٢	٢.٧٠	٢.٨٨	٣.٠٦	٣.٣١	٣.٦
٣٧	١.٤٨	١,٦٧	١.٨٥	٢.٢٢	٢.٤١	٢.٥٩	٢.٧٨	٢.٩٦	٣.١٥	٣.٤٠	٣.٧
٣٨	١.٥٢	١.٧١	١.٩٠	٢.٢٨	٢.٤٧	٢.٦٦	٢.٨٥	٣.٠٤	٣.٢٣	٣.٥٠	٣.٨
٣٩	١.٥٦	١.٧٦	١.٩٥	٢.٣٤	٢.٥٤	٢.٧٣	٢.٩٣	٣.١٢	٣.٣٢	٣.٥٩	٣.٩
٤٠	١.٦٠	١.٨٠	٢.٠٠	٢.٤٠	٢.٦٠	٢.٨٠	٣.٠٠	٣.٢٠	٣.٤٠	٣.٦٨	٤.٠
٤١	١.٦٤	١.٨٥	٢.٠٥	٢.٤٦	٢.٦٧	٢.٨٧	٣.٠٨	٣.٢٨	٣.٤٩	٣.٧٧	٤.١
٤٢	١.٦٨	١.٨٩	٢.١٠	٢.٥٢	٢.٧٣	٢.٩٤	٣.١٥	٣.٣٦	٣.٥٧	٣.٨٦	٤.٢
٤٣	١.٧٢	١.٩٤	٢.١٥	٢.٥٨	٢.٨٠	٣,٠١	٣.٢٣	٣.٤٤	٣.٦٦	٣.٩٦	٤.٣
٤٤	١.٧٦	١.٩٨	٢.٢٠	٢.٦٤	٢.٨٦	٣.٠٨	٣.٣٠	٣.٥٢	٣.٧٤	٤.٠٥	٤.٤
٤٥	١.٨٠	٢.٠٣	٢.٢٥	٢.٧٠	٢.٩٣	٣.١٥	٣.٣٨	٣.٦٠	٣.٨٣	٤.١٤	٤.٥
٤٦	١.٨٤	٢.٠٧	٢.٣٠	٢.٧٦	٢.٩٩	٣.٢٢	٣.٤٥	٣.٦٨	٣.٩١	٤.٢٣	٤.٦
٤٧	١.٨٨	٢.١٢	٢.٣٥	٢.٨٢	٣.٠٦	٣.٢٩	٣.٥٣	٣.٧٦	٣.٤٠	٤.٣٢	٤.٧
٤٨	١.٩٢	٢.١٦	٢.٤٠	٢.٨٨	٣.١٢	٣.٣٦	٣.٦٠	٣.٨٤	٤.٠٨	٤.٤٢	٤.٨
٤٩	١.٩٦	١.٢١	٢.٤٥	٢.٩٤	٣.١٩	٣.٤٣	٣.٦٨	٣.٩٢	٤.١٧	٤.٥١	٤.٩
٥٠	٢.٠٠	٢.٢٥	٢.٥٠	٣.٠٠	٣.٢٥	٣.٥٠	٣.٧٥	٤.٠٠	٤.٢٥	٤.٦٠	٥.٠

إذا تم معرفة نسبة العنصر فى الخامة ونسبة الخامة فى شحنة الفرن ، والجدول رقم (١١) يستعمل فى حساب نسبة العنصر التى تشارك بها الخامة فى الشحنة . ولهذا السبب فإن شحنة من زهر تماسيح بنسبة ٦٥٪ تحتوى على سيليكون بنسبة ١.٨٪ سوف تساهم بنسبة ١.١٧٪ سيليكون فى إجمالى شحنة الفرن ، كما هو موضح بالجدول . وبالمثل فإن ٣٥٪ خردة الصلب تحتوى على سيليكون بنسبة ٠.١٪ سوف نجد أنها تشارك بسيليكون بنسبة ٠.٠٤٪ من إجمالى شحنة الفرن ، وعلى هذا فيكون إجمالى مجموع السيليكون فى الشحنة عبارة عن ١.١٧ + ٠.٠٤ = ١.٢١٪ .

وبعد هذا العرض لبيان كيفية أن هذا الجدول يمكنه المساعدة فى حساب تركيب الشحنة بطريقة بسيطة ، فإن حساب شحنة لإنتاج زهر Grade 17 يمكن إجراؤه . وإذا كان الهدف هو إجراء حسابات هذه الشحنة فنفترض أن تركيب الزهر المطلوب هو كربون بنسبة ٣.١٪ وسيليكون بنسبة ١.٧٥٪ ومنجنيز بنسبة ٠.٧٪ والكبريت أقل من ٠.١٥٪ والفوسفور أقل من ٠.٣٪ وعلى فرض أن الشحنة التى سبق أن حددناها سوف تستعمل . والتحليل التقريبى للخامات الداخلة فى شحنة الفرن موضحة فى جدول رقم (١٣) .

جدول (١٣) تركيب خامات الشحنة

الخامة	كربون ٪	سيليكون ٪	منجنيز ٪	فوسفور ٪	كبريت ٪
حديد تماسيح A	٣.٧	٢.٥	١.٠	٠.١٥	٠.٠٣
حديد تماسيح B	٣.٠	٢.٩	٠.٩	٠.١٠	٠.٠٤
خردة موتورات	٣.٢	٢.٢	٠.٨	٠.١٥	٠.١٥
خردة Grade 17	٣.١	١.٧	٠.٧	٠.١٠	٠.١٣
خردة صلب	٠.١	٠.١	٠.٢	٠.٠٥	٠.٠٥

وشحنة هذا الفرن مكونة من نوعين من حديد زهر التماسيح (A&B) بالإضافة إلى موتورات خردة ، وهى تعتبر مصدر خردة الحديد الزهر منخفض الفوسفور . وفى البداية نقول : إنه يفضل استعمال زهر التماسيح من النوع A عن النوع B . وجدول رقم (١٤) موضح به حسابات الشحنة ؛ ونسب عناصر الكربون والسيليكون والفوسفور والكبريت

والمنجنيز التى تساهم بها كل خامة داخلة فى شحنة الفرن موضحة بجدول رقم (١٤) وقد تم الاستعانة بالجدول رقم (١١) وبإجراء عملية الجمع البسيط يمكن استنتاج تركيب الشحنة الإجمالى .

جدول (١٤) حسابات الشحنة نموذج (١)

الخامة	الإضافة ٪	نسبة المساهمة فى التركيب النهائى				
		كربون ٪	سيليكون ٪	منجنيز ٪	كبريت ٪	فوسفور ٪
حديد تماسيح A	٢٥	٠.٩٣	٠.٦٣	٠.٢٥	٠.٠٠٨	٠.٠٥
خردة موتورات	١٥	٠.٤٨	٠.٣٣	،١٢	٠.٠٢٣	٠.٠٣
خردة Grade 17	٣٥	١.٠٩	٠.٦٠	٠.٢٥	٠.٠٤٦	٠.٠٤
خردة صلب	٢٥	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٥	٠.٠١٣	٠.٠١
سبائك حديدية						
تركيب الشحنة		٢.٥٣	١.٥٩	٠.٦٧	٠.٠٩	٠.١٣
التغيير أثناء الصهر		٠.٧٦+	٠.٢٢-	٠.١٧-	٠.٠٤+	——
تركيب المعدن عند فتحة البزل		٣.٢٩	١.٣٧	٠.٥٠	٠.١٣	٠.١٣
اضافات البوتقة			٠.٢٥+			
التركيب النهائى		٣.٢٩	١.٦٢	٠.٥٠	٠.١٣	٠.١٣

بعد ذلك يجب تصحيح تركيب مكونات الشحنة طبقاً للتغيرات التى تحدث أثناء عملية الصهر داخل الفرن ، وفى هذه الحالة يمكن خصم ١٥٪ من شحنة السيليكون تمثل نسبة الفقد ، كما يتم خصم ٢٥٪ من نسبة المنجنيز أيضاً . أما الفوسفور فمن المتوقع ألا يتغير . وبعد حساب نسبة السيليكون والفوسفور عند فتحة الصب ، وبعد معرفة مستوى الكربون فى الشحنة فيمكن الاعتماد على المعادلة السابقة لحساب نسبة الكربون عند فتحة الصب فى أفران الدست ذات الصب المستمر . أما بالنسبة للكبريت فإنه لايمكن حسابه إلا عن طريق الخبرات السابقة المكتسبة من تشغيل فرن الدست ، وفى هذه الحالة التى نحن بصددها تتم حسابها على اعتبار نسبة الكبريت ٠.٠٤٪ . كما أن المعدن المتجمع فى بوتقة الفرن كان يضاف إليه فيروسيليكون بنسبة ٠.٢٥٪ لرفع نسبة السيليكون فى المعدن .

وبالمقارنة بين تركيب العناصر فى الحساب النهائى وبين التركيب المطلوب Target فإننا نجد أن نسبة الكربون بها زيادة حوالى ١٩ . ٠٪ ، أما السيليكون والمنجنيز فنجد كلا منهما أقل من المطلوب ، لكن يمكن تصحيح نسبتهما بإضافة سبائك حديدية . أما الكبريت والفوسفور فهما أقل من الحد الأقصى المسموح به The Permitted Maxima ؛ ولإجراء عملية تخفيض لنسبة الكربون المرتفعة أكثر مما يجب فإنه يتم استعمال زهر التماسيح من النوع B المنخفض الكربون (إذا كان ذلك متاحاً) فى شحنة الفرن ليعطى النسبة المطلوبة للكربون . والجدول رقم (١٥) يبين حسابات الشحنة عند استعمال زهر تماسيح من النوع B . فكمية الكربون التى يساهم بها زهر التماسيح بنسبة ٢٥٪ انخفضت من ٩٣ . ٠٪ (عند استعمال زهر التماسيح A) لتصبح ٧٥ . ٠٪ (عند استعمال زهر التماسيح B) . أما باقى حسابات الشحنة فتتم بنفس الطريقة السابقة وعلى الرغم من أن نسبة الكربون (١٩ . ٣٪) مازالت مرتفعة عن المطلوب إلا إنها أصبحت داخل النطاق المطلوب والحدود المقبولة (٠ . ٣ - ٢ . ٣٪) فى النوع Grade 17 . ومرة أخرى يمكن تصحيح نسب السيليكون والمنجنيز ، وذلك بإضافة سبائك حديدية . أما نسب الكبريت والفوسفور فلن تزيد عن الحدود القصوى المسموح بها .

جدول (١٥) حسابات الشحنة نموذج (٢)

الخامة	الإضافة ٪	نسبة المساهمة فى التركيب النهائى				
		كربون ٪	سيليكون ٪	منجنيز ٪	كبريت ٪	فوسفور ٪
حديد تماسيح B	٢٥	٠.٧٥	٠.٧٣	٠.٢٣	٠.٠١٠	٠.٠٣
خردة موتورات	١٥	٠.٤٨	٠.٣٣	٠.١٢	٠.٠٢٣	٠.٠٣
خردة Grade 17	٣٥	١.٠٩	٠.٦٠	٠.٢٥	٠.٠٤٦	٠.٠٤
خردة صلب	٢٥	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٥	٠.٠١٣	٠.٠١
سبائك حديدية						
تركيب الشحنة		٢.٣٥	١.٦٩	٠.٦٥	٠.٠٩٢	٠.١١
التغيير أثناء الصهر		+٠.٨٤	-٠.٢٥	-٠.١٦	+٠.٠٤	——
تركيب المعدن عند فتحة البزل		٣.١٩	١.٤٤	٠.٤٩	٠.١٣٢	٠.١١
اضافات البوتقة			٠.٢٥			
التركيب النهائى		٣.١٩	١.٦٩	٠.٤٩	٠.١٣٢	٠.١١

إن الطريقة البديلة لتخفيض نسبة الكربون ، عند فتحة الصب بدون استخدام زهر تماسيح منخفض الكربون ، هى تغيير نسب الخامات الداخلة فى شحنة الفرن ، فمثلاً نفترض أن زهر التماسيح A تم تخفيض نسبته من ٢٥٪ إلى ٢٠٪ وتم زيادة نسبة خردة الصلب من ٢٠٪ إلى ٢٥٪ ؛ وبإجراء هذا التغيير فإننا سنحصل على فائدة إضافية ، هى تخفيض تكلفة الطن من الخامات المعدنية المشحونة . والجدول رقم (١٦) يوضح حسابات شحنة الفرن بعد تخفيض نسبة زهر التماسيح إلى ٢٠٪ وفى هذه الحالة سيتم إضافة سيليكون ومنجنيز بنسبة ٠.٣٠٪ على شكل سبائك حديدية أو قوالب لشحنة الفرن ، مع إفتراض نفس نسب الفقد أو الكسب للعناصر المختلفة Losses or Gains كما فى الحسابات السابقة ؛ وبذلك يكون التركيب النهائى للمعدن فى بوتقة الفرن هى كما يلى : ٣.١٧٪ كربون ، ١.٧٥٪ سيليكون ، ٠.٧٠٪ منجنيز ، ٠.١٣٪ كبريت ، ٠.١١٪ فوسفور ، وبذلك تصبح عناصر السيليكون والمنجنيز والكبريت والفوسفور فى الحدود المطلوبة . أما بالنسبة للكربون فمازال مرتفعاً قليلاً لكن داخل النطاق المقبول للكربون فى Grade 17 . وإذا كان مطلوباً إجراء تخفيض آخر للكربون فإنه يمكن استعمال زهر تماسيح من النوع B بدلاً من زهر التماسيح A ، وبذلك تنخفض نسبة الكربون عند فتحة الصب لتصبح ٣.١٪ .

جدول (١٦) حسابات الشحنة نموذج (٣)

الخامة	الإضافة ٪	نسبة المساهمة فى التركيب النهائى				
		كربون ٪	سيليكون ٪	منجنيز ٪	كبريت ٪	فوسفور ٪
حديد تماسيح A	٢٠	٠.٧٤	٠.٥٠	٠.٢٠	٠.٠٠٦	٠.٠٣
خردة موتورات	١٥	٠.٤٨	٠.٣٣	،١٢	٠.٠٢٣	٠.٠٣
خردة Grade 17	٣٥	١.٠٩	٠.٦٠	٠.٢٥	٠.٠٤٦	٠.٠٤
خردة صلب	٣٠	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٥	٠.٠١٥	٠.٠١
سبائك حديدية			٠.٣٠	٠.٣٠		
تركيب الشحنة		٢.٢٤	١.٧٦	٠.٩٣	٠.٠٩٠	٠.١١
التغيير أثناء الصهر		+٠.٨٣	-٠.٢٦	-٠.٢٣	+٠.٠٤٠	——
تركيب المعدن عند فتحة البزل		٣.١٧	١.٥٠	٠.٧٠	٠,١٣٠	٠.١١
اضافات البوتقة			٠.٢٥			
التركيب النهائى		٣.١٧	١.٧٥	٠.٧٠	٠,١٣٠	٠.١١

وبناء على ذلك فمن الواضح أنه للحصول على زهر بالتركيب المطلوب عند المصب The Spout باستعمال الخامات المتاحة يجب تعديل تركيب شحنة الفرن المثالية ، والتى سبق تحديدها من قبل .

وبعد تحديد نسب جميع خامات الشحنة فإن الوزن الإجمالى للشحنة يجب أن يحسب مع تحديد الوزن الخاص لكل خامة على حدة ، ويجب أن تكون شحنة الفرن تمثل حوالى $\frac{١}{١٠}$ من وزن المعدن المنصهر فى مدة ساعة داخل فرن الدست . فى حالة تشغيل الهواء باستمرار؛ بحيث يتم شحن ١٠ شحنات Charges فى الساعة الواحدة داخل فرن الدست . فمثلا إذا كان معدل الصهر ١٠ طن / ساعة فإن وزن الشحنة الواحدة يكون حوالى طن واحد . أما بالنسبة للشحنة الموضحة فى جدول (١٦) فإن أوزان الخامات المكونة لشحنة الفرن تكون على النحو التالى :

٢٠٠ كجم	حديد زهر تماسيح منخفض الفوسفور
١٥٠ كجم	موتورات خردة
٣٥٠ كجم	خردة زهر Grade 17
٣٠٠ كجم	خردة صلب

ومن أجل حساب كمية السبائك الحديدية اللازمة لإضافة السيليكون والمنجنيز بنسبة ٠.٣٪ فيمكن استعمال جدول رقم (٨) لهذا الغرض . وكما هو موضح بهذا الجدول ، فإنه يلزم إضافة ٣ كجم سيليكون صافى و ٣ كجم منجنيز صافى لإضافة ٠.٣٪ من هذه العناصر لكل طن من المعدن . وإذا كان السيليكون والمنجنيز موجودين على شكل قوالب ؛ وكل قالب يحتوى على كيلو جرام واحد من العنصر المطلوب ، إذن فيلزم إضافة ثلاثة قوالب لكل شحنة ، وإذا كانت نسبة السيليكون فى السبيكة ٥٠٪ فقط من الكمية المطلوبة فيلزم إضافة ٦ قوالب لكل شحنة .

الشحنة ذات التكلفة الأقل Least Cost Charge

هناك العديد من الطرق ، والتى تعطى لشحنة الفرن التركيب المطلوب للمعدن عند فتحة الصب ، فمثلاً إذا كان هناك ثمانى خامات مختلفة مخصصة للشحن موجودة فى

حوش التخزين Stock Yard ومطلوب خمس خامات فقط لشحنها فى الفرن ، فعلى ذلك يكون هناك حوالى ٥٦ خلطة من خلطات الشحن تعطى نفس التركيب المطلوب والصحيح عند فتحة الصب ؛ وسيوجد من هذا العدد كله خلطة واحدة فقط هى أقل الخلطات تكلفة وأقلها سعراً ، وهى التى تعطى أعلى ربحية لكل طن من المسبوكات المنتجة . وفى أغلب الظروف نجد أنه من الصعب على مهندس الميتالورجى تقدير أو تحديد أرخص خلطة من هذه الخلطات . ولهذا فقد قامت BCIRA بتطوير وإمداد المسابك ببرنامج كومبيوتر يمكنه القيام بهذه العملية فى أسرع وقت وإعطاء المعلومات المطلوبة . ويقوم هذا البرنامج بثلاث عمليات هى على النحو التالى :

١- استخدام الخامات المخزونة فى حوش التخزين الاستخدام الأمثل .

٢- بيان كيفية استعمال خامات بديلة لم يتعود المسبك على شرائها .

٣- حساب حدود الضوابط المعينة والتى قد تؤدى إلى خفض الوفر الذى يمكن الحصول عليه .

هذا وقد قام العديد من المسابك بالاستفادة من هذا البرنامج ، وقد أدى هذا إلى حدوث وفر فى كل مسبك . ففى أحد المسابك كانت قيمة الوفر ٢.٢ جنيه / طن وذلك بالاستعمال الجيد للخامات الموجودة فعلاً فى حوش التخزين ، وعند استخدام خامات بديلة Alternative Raw Materials فإن الوفر يزداد إلى حوالى ٣.٥٣ جنيه استرلينى / طن .

ومن الواضح أن إمكانية خفض تكلفة الشحنة لأكثر من هذا تصبح صعبة ، وذلك بسبب ضرورة عدم زيادة نسب الكبريت عن ٠.٠٥٪ وقد تم إجراء اختبارات لتحديد أقصى تخفيض لتكلفة الشحنة يمكن الحصول عليه ، إذا تم التغاضى عن شرط نسبة الكبريت وقد اتضح أنه اذا سمح بزيادة الكبريت بحد أقصى ٠.٠٥٢٪ فإنه يمكن الحصول على وفر إضافى مقداره ٠.٩٦ جنيه استرلينى / طن .

والنقطة الأخيرة التى يجب أن توضع فى الإعتبار بعد تحديد الأوزان المضبوطة من مختلف الخامات المطلوبة فى شحنة الفرن ؛ فمن المهم جداً أن يتم وزن الخامات بدقة تامة ، ولايمكن توقع أن يكون تركيب المعدن المنصهر عند فتحة الصب تركيباً متجانساً ، إلا إذا تم التأكد من سلامة أوزان الخامات المختلفة فى كل شحنة من شحنات الفرن .

الباب الثامن

طرق مناولة الخامات وتخطيط حوش التخزين

Material Handling and Stockyard Layout

نتيجةً لتأثير ثقل الخامات واختلاف أنواعها ، فإن المشاكل المصاحبة لكل من عملية شحن فرن الدست وعملية تخطيط أرضية حوش التخزين تعتبر من أساسيات عملية مناولة الخامات . وكما فى حالات أخرى كثيرة فإننا نلجأ إلى استخدام طرق ميكانيكية Mechanized Methods لنقل الخامات كوسيلة للتغلب على مشاكل قلة العمال Shortage of Labour وارتفاع تكاليفهم High Cost . وعلى الرغم من أن العديد من المسابك مازال إلى يومنا هذا يعتمد كليةً على المجهود البشرى فإن انتشار طرق الشحن الميكانيكية فى تزايد مستمر . وقد حدث تطور هائل فى تصميم هذه المعدات ودرجة الاعتماد عليها ؛ وهناك الآن العديد من الأنظمة الجيدة فى هذا المجال التى تم إنشاؤها بالفعل والمتاحة والممكنة للصناعة .

إن عملية شحن فرن الدست مرتبطة تماماً بتخطيط حوش التخزين Stock-Yard Layout وبناء على ذلك ، فإنه من المستحيل الاهتمام بأحدهما دون الآخر عند إجراء أى تطوير أو تحسين لكفاءة الأداء . وعند وضع صيغة لأى خطة للتحسين فإنه يجب التحقق من العوامل الأساسية التالية :

١- إمداد فضاء المخزن بالكميات المناسبة من الخامات الأولية ، ويجب أن يحتمل حجم المخزن الاستهلاك اليومى من الخامات بالإضافة إلى الخامات التى يتم توريدها لإحلالها محل الخامات المستهلكة .

٢- المحافظة على الخامات المخزونة بحيث تكون قريبة بقدر الإمكان من الفرن ، وذلك لتسهيل عملية نقلها المتلاحق .

٣- دمج وضم الوسائل المستخدمة فى نقل الخامات ، وذلك بهدف تقليل المجهود البشرى المبذول .

٤- يجب أن يتوافق موقع المعدات المستعملة مع النواحى الفنية لكل من وحدة الصهر ، ومعدل الصهر وعدد الأفران التى ستقوم بخدمتها ، وعملية تجهيز الشحنة وغيرها .

٥- يجب أن تتوافر المعرفة الحقيقية للحدود المفروضة بحكم ظروف المكان . وبقدر الإمكان يجب على المخطط أن يحصل على ميزة طبيعة المكان .

٦- إن التكاليف الرئيسية والتى تشمل عملية إعادة التخطيط يجب أن تتوازن مع الوفر فى أجور العمال فى كم معقول من الخامات . مع الأخذ فى الاعتبار عملية التوسع فى المستقبل ومتطلبات المسبك مستقبلاً من الزهر المنصهر .

ومادام قد أصبح معلوماً لنا بعض المبادئ الأساسية المحددة جيداً ، فإن عملية تنفيذها لاتعتبر فرضاً مباشراً ، ولكن على كل مسبك أن يتخير كل ماهو ضرورى له حسب تقديراته .

كيفية الاستفادة من العمال Labour Utilization

بدايةً يمكن أن نقول : إنه من المفيد أن نعتبر الطريقة المعتادة لشحن الفرن من فوق الصندرة Platform Charging ماتزال هى الطريقة المعتادة فى العديد من المسابك إلى يومنا هذا . وبناءً على ذلك فيمكن تكوين صورة أوضح عن قيمة المعدات الميكانيكية المستخدمة فى الشحن ومدى إمكانيات التطوير الذى يمكن إجراؤه .

وفى مثل هذه الطريقة للشحن فإنه من المعتاد إجراء عملية الصهر لمدة محدودة فى نهاية اليوم وذلك لإتاحة وقت أطول بقدر الإمكان لاستكمال عملية التشكيل Moulding .

وبما أن شحنات الخامات التى يمكن صهرها تتراوح بين حوالى ٢ طن وبين ٥٥ طن ، فنادراً ماتصل مدة الصهر إلى ثلاث ساعات فى الصهرة الواحدة . وهذه النوعية من طرق الصهر (ولزمن طويل) تعتمد على طريقة أساسية لأسلوب الشحن حيث عادة مايتم البدء فى استخدام العمال خلال الساعات السابقة لعملية الصهر فى تجميع الشحنة ونقلها من حوش التخزين إلى الفرن ، عن طريق عربات اليد ذات العجلة الواحدة (البراويطة) Wheel-Barrows وإذا كان موجوداً وسيلة ميكانيكية فيتم رفع الخامات لتخزينها على أرضية الصندرة أمام مستوى عتبة الشحن Charging Sill وذلك باستخدام مصعد رفع

Lift Hoist أو ونش ذات بكرة Hoist Block . وأثناء عملية الصهر يتم إعداد الخامات على شكل شحنات موزونة مع تغذية الفرن بالشحنات بواسطة اليد Hand Fed . وهذه الطريقة عموماً هى المستخدمة على نطاق واسع فى معظم المسابك . والأختلاف الوحيد يكون فى عدد العمال المستخدمين لإجراء هذه العملية .

وهذه الطريقة مرنة تماماً ويمكن تطبيقها فى مدى واسع من الأول إلى الآخر وأيضاً فى المسافة بين المخزن ووحدة الصهر . وعلى أى حال فإنها متوقفة على المجهود البشرى وفى المسافات الطويلة ، يمكن استخدام عدد أكبر من العمال بسبب ازدواجية عملية نقل الخامات The Double Handling . وفى الوضع العادى يمكن الاستفادة من العمال بتقسيمهم إلى فريقين :

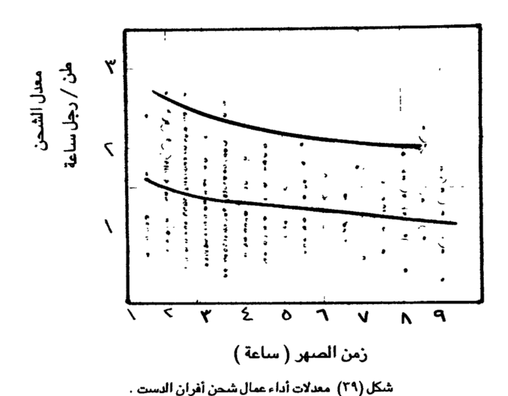
الأول : ويشمل العمل فوق الصندرة فى إعداد الشحنات وتغذية الفرن بالخامات ، **والثانى** : فى نقل الخامات من حوش التخزين إلى صندرة الفرن . وإلى حد بعيد يمكن اعتبار عملية شحن الفرن نفسه هى الأهم . ومن المعتاد عمل مقارنة على أساس عدد الأطنان من المعدن المشحون لكل عامل من العمال . وفى الواقع إنها تحتسب على أساس قسمة معدل الصهر على عدد العمال القائمين بشحن الفرن .

والشكل رقم (٣٩) يوضح القيم فى حدود عدد الأطنان لكل رجل فى الساعة ، بناء على ظروف العمل فى ٤٠٠ مسبك فى مقابل عدد ساعات الصهر .

وفى هذا الشكل تم تمثيل كل صهرة بنقطة يعتمد موقعها على مدة الصهر ومعدل الصهر وعدد العمال المستخدمين فى الصهرة الواحدة . والخط السفلى فى هذا الشكل يمكن الإعتماد عليه بنسبة ٩٥٪ لتحديد أقصى معدل للشحن والذى يمكن أن تصل إليه التوقعات بطريقة إحصائية . أما الخط العلوى فيمثل معدلات الشحن الفائقة ، والتى لايمكن الوصول إليها إلا بنسبة تصل إلى ٥٪ فقط .

ويمكن استنتاج عدد من النقاط المهمة من هذه الدراسة وهى :

أولاً : سيتضح أن أقصى معدل للشحن نظرياً ينخفض كلما زادت فترة الصهر Melting Period من ٢,٧ طن / رجل ساعة فى الصهرات القصيرة إلى حوالى ٢ طن / رجل ساعة فى الصهرات الطويلة .



شكل (٣٩) معدلات أداء عمال شحن أفران الدست .

ثانياً : القيم العليا أى الموثوق بها (التى يعتمد عليها) فى حدود ٩٥٪ دائماً مايصاحبها وسائل مناولة جيدة ، بينما تلك القيم القريبة من المتوسط أو الأقل من المتوسط فهى فقيرة من وسائل المناولة . وبمعنى آخر فإن القيم المحصورة بين الخط المتوسط وبين الحدود العليا تمثل درجات مختلفة من الكفاءة Efficiency اعتماداً على درجة الميكنة .

إن وسائل المناولة عند صندرة الشحن فى معظم المسابك ضئيلة جداً ، ولهذا السبب يتم استخدام عمال أكثر . ويتم وضع الخامات على أرضية الصندرة على شكل أكوام غير مميزة وعادة مايتم وضع ميزان بارتفاع ١٥ سم على أرضية الصندرة . وعملية نقل الخامات من مخزن الصندرة عادة ماتتم على ثلاث أو أربع مراحل : الأولى هى نقل الخام من مكان التخزين Stocks إلى عربة اليد Barrow والثانية من عربة اليد إلى الميزان Weigh Scale والثالثة من على الميزان إلى الفرن . ومثل هذه الصندرة يمكن إجراء بعض التحسينات المقبولة عليها .

وأكثر الأنظمة فعالية هو النظام الذى يستعمل فيه ميزان ذو قرص مدرج Dial Weigh Scale . مع استخدام قادوس قلاب معلق Tipping-Skip Suspended مركب

على عربة ترولى خفيفة Light Trolley ، ومحمول على طول قضيب حديدى مفرد معلق A Length of Monorail مثبت من أعلى Supported Overhead وينتقل بين أكوام الخامات وعتبة شحن الفرن Furnace Sill . ويتم ترتيب الشحنات من الخامات المختلفة حسبما هو مطلوب . ويقوم العامل فى النهاية بقلب الشحنة كلها مباشرة فى الفرن . وبهذه الطريقة فإن العمال لن يجدوا صعوبة فى إنجاز أقصى معدل للشحن ، والذى يتم تمثيله بحدود النسبة ٩٥٪ أو بمعدل ٢.٧ طن / رجل ساعة فى الصهرات القصيرة وبمعدل ٢ طن / رجل ساعة فى الصهرات الطويلة (زمن تشغيل ٧ - ٨ ساعات) .

والمعلومات التى من النوع الموضح بشكل رقم (٣٩) يمكن الحصول عليها من كل من الشحن من الصندرة ، أو من أماكن الشحن الأخرى التى يقوم العامل فيها بشحن القادوس أو الحلة Bucket فى مستوى الأرض . وبمقارنة المجموعتين من الأشكال نجد أن العمال المستخدمة تكون متساوية فى حالات تساوى معدلات الصهر وطول الصهرة . وفى الحقيقة إن هذا يدل على أن معدات الشحن الميكانيكية نفسها فى هذه الطريقة على وجه العموم لاتضمن حدوث وفر فى كمية (عدد) عمال الشحن الحقيقيين .

نقل وتجهيز الخامات Reclamation of Materials

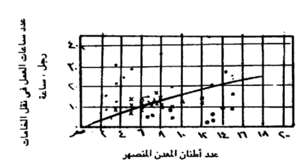
إن الجانب الآخر من استخدام العمال والذى يتعلق بإحضار الخامات من حوش التخزين إلى صندرة شحن الفرن (والتى يتم فيها شحن الفرن ميكانيكيا باستخدام قادوس متحرك Skip Bucket) وهذا موضح فى شكل رقم (٤٠) والذى يبين العلاقة بين عدد (الرجل . ساعة) المستهلكة فى نقل وإعداد الخامات لكل صهرة وبين كمية المعدن المنتج فى الصهرة نفسها ، وذلك فى ثلاث مجموعات من المسابك .

المجموعة الأولى تشمل المسابك التى تستعمل طريقة الشحن من على الصندرة ، والتى تقوم بالصهر كل يوم لمدة ثلاث أو أربع ساعات يومياً . والمجموعة الثانية تشمل المسابك التى تستعمل أيضاً طريقة الشحن من فوق الصندرة ولكنها تقوم بعملية الصهر مرة أو مرتين اسبوعياً ، وفى هذ المجموعة فإن مشكلة المناولة ليست أكبر من حالتها فى المجموعة الأولى ، ويرجع أرتفاع عدد (الرجل . ساعة) المستهلك فى نقل الخامات نتيجةً لحقيقة أن العمال تقوم باستهلاك الوقت ، والذى يكون متاح بصورة أكبر بكثير من الوقت

المطلوب بالفعل .

أما المجموعة الثالثة فتشمل المسابك التى تستعمل طريقة الشحن الميكانيكى فى شحن الأفران حيث يقوم بالصهر كل يوم . وانخفاض عدد (الرجل . ساعة) المستهلكة فى إحضار الخامات واعدادها فى المسابك التى تستخدم معدات الشحن الميكانيكى يرجع إلى حقيقة أن معظم عمليات نقل الخامات تتم أثناء فترة الصهر نفسها .

ومن المفهوم ضمناً أن القيمة الحقيقية لطريقة الشحن الميكانيكية يتم إدراكها فقط إذا كانت شحنات الخامات موضوعة قريبة من وحدة الشحن . وكلما بعدت رقعة المخزن عن الفرن كلما زادت الحاجة لعمال أكثر لنقل الخامات ، وفى حالة نقل كميات قليلة تصبح القيمة الكلية لمعدات الشحن الميكانيكى معدومة تماماً .



عدد ساعات العمل المستنفذه لكل طن عند عملية نقل الخامات
× مسابك تصهر يومياً
● مسابك تصهر مرة إلى ثلاث مرات أسبوعياً
o مسابك تصهر كل يوم (شحن ميكانيكى)

شكل(٤٠)

وعلى الرغم من أن المزايا الأساسية لوحدات الشحن الميكانيكية هى فى الأساس تخفيض عدد العمال المطلوبين للشحن ، فإن هناك نواحى إضافية يجب ملاحظتها ، وهى :

١- عند استعمال معدات الشحن الميكانيكى يمكن للعمال أن يمارسوا عملهم وهم فى مستوى أرضية المسبك ، وبالتالى لايتعرضون للأدخنة أو الحرارة المتصاعدة ، والتى يمكن أن تسبب أحوال تشغيل غير مرضية ، إذا ماتم الشحن فى مستوى الصندرة .

٢- عملية الإشراف عموماً تكون سهلة وممكنة عندما يتم الشحن فى مستوى أرضية

المسبك .

٣- وإذا كانت تكلفة إقامة وحدة شحن ميكانيكية عالية فيمكن اعتبار أنها تتساوى مع تكلفة إقامة مصعد رفع Lift Hoist . وتكلفة تشييد صندرة بالحجم والمتانة المناسبين، لتتلاءم مع ثقل الخامات التى ستوضع فوقها والتى يجب أن تكفى التشغيل اليومى .

وحدات الشحن الميكانيكية من نوع ونش القادوس المائل ونوع ونش السلة ذات القاع الساقط

Inclined Skip Hoist and Drop Botton Bucket Hoist Charging Machines

من الأنواع الكثيرة المختلفة من وحدات الشحن الميكانيكية يفضل ونش رفع القادوس المائل Inclined Skip Hoist أو ونش رفع السلة ذات القاع الذى يمكن إسقاطه Drop Bottom Bucket Hoist . وهذه الوحدات تم تصنيعها لسنوات عديدة وهى تقوم بتغذية مايزيد على ١٠٠ مسبك بالخامات المطلوبة .

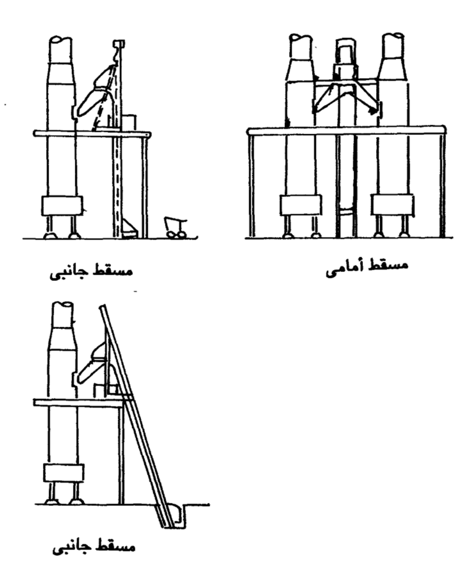
وهذه المعدات سهلة فى تشغيلها وصيانتها ونظام الشحن بالقادوس أو السلة ، تكاليف إنشاؤه رخيصة نسبياً . وأفران الدست التى يبلغ ارتفاعها العادى ٦ – ٧,٥ متر يكون زمن دورة الشحن فى حدود دقيقتين ، ولهذا فيمكن شحن مايعادل ١٥ شحنة فى الساعة مع شحن الفحم وحده .

ويتم استخدام ونش القادوس فى مدى كبير لمختلف معدلات الصهر ، وهذا النوع مناسب عموماً للأفران الصغيرة ، والتى يقل قطرها الداخلى عن ٩٠ سم ولايزيد معدل صهرها عن ٥ طن / ساعة . والسبب فى هذا التحديد هو ميل مكونات الشحنة إلى الانعزال Deposition عند انحدارها Ramping داخل الفرن .

وعملية الانحدار هذه Ramping يظهر تأثيرها بشدة فى الأفران الواسعة ، وتصبح هذه العملية غير مرغوب فيها Undesirable إذا كانت الشحنة تتألف من عدد كبير من الخامات المختلفة وإذا كان مطلوباً الحصول على معدن منصهر يكون تركيب العناصر الداخلة فيه فى حدود ضيقة Closed Limits .

وقد أثبتت التجارب أن الشحنات تميل إلى أن تنتشر بطريقة أكثر انتظاماً إذا احتفظ مستوى المخزون بمسافة قصيرة تحت عتبة الشحن . ولهذا السبب فإن عتبة الشحن Charging Sill فى الأفران التى تشحن بهذه الطريقة يجب أن ترتفع بمقدار ٦٠ - ٩٠ سم أعلى من الأفران التى يتم شحنها يدوياً (Hand Charging) .

وحديثاً أصبح من المعروف إمكانية إنشاء ونش رافع بقادوس Skip Hoist بين زوج من الأفران (كما فى شكل ٤١) ويقوم القادوس بتفريغ محتوياته إلى منحدر Chute من



شكل (٤١) نظام شحن الدست باستخدام منحدرات التفريغ المشقوقة .

النوع المسمى رجل البنطلون Double Trouser Leg Type لذلك يطلق عليه اسم منحدر البنطلون القصير Breeches Chute . وتوجد ضلفة بوابة Flap Gate موضوعة فى المنحدر لتوجيه الخامات إلى جهة الفرن الشغّال ، وعلى الرغم من أن هذا النظام يعتبر أرخص من ناحية الإنشاء إلا أن الاتجاه الحديث يميل إلى إنشاء النوع السابق ، حيث إنه يمكن نقله من فرن إلى آخر حسب ظروف العمل .

ومن عيوب نظام منحدر البنطلون القصير Breeches-Chute مايلى :

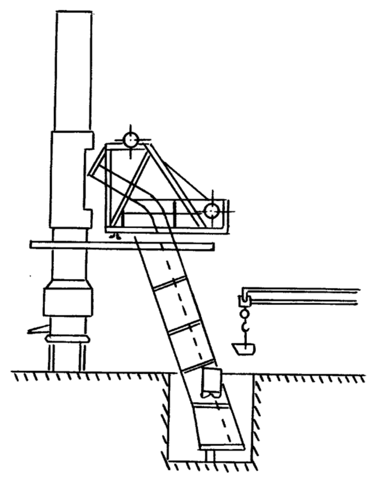
١- هناك مخاطرة كبيرة من احتمال أن تنحشر Scaffold الشحنة فى المنحدر .

٢- إن عملية القيام بعمل صيانة أو ترميم فى أحد الأفران تصبح صعبة جداً أثناء تشغيل الفرن الآخر مع مايصاحب هذه العملية من ضجيج وأتربة متطايرة .

٣- هناك مخاطرة كبيرة إذا لم يتم إحكام غلق Fastened بوابة المنحدر حيث إن الخامات قد تتحول إلى الفرن الآخر الذى يتم ترميمه .

وفى حالة الأفران التى يزيد معدل الصهر فيها عن ٤ - ٥ طن / ساعة فإنه من المعتاد استخدام وحدة الشحن ذات السلة ذات القاع الساقط Drop-bottom Bucket Charger . والموضحة فى شكل (٤٢) . مرة أخرى يمكن استخدام هذه الوحدة لتخدم فرنين فى وقت واحد ، حيث يتم عمل تجهيزة ميكانيكية مخصوصة Swivelling Mechanism . لتسمح لوحدة الشحن بالانتقال من فرن لآخر .

والعديد من أفران الدست الحديثة يستعمل ناقل من النوع الهزاز Vibratory Con-veyor ، وذلك لتغذية شحنة الخامات إلى الفرن بهدف تضييق فتحة الشحن أعلى الفرن . إن حجم الهواء الذى يتسرب إلى الفرن من خلال فتحة الشحن تتناسب طردياً مع مساحة هذه الفتحة ولتصميم بعض الأفران التى يتم فيها تركيب جهاز لشفط الأتربة منها Cupola Emission Control Equipment فإن كمية الهواء التى تدخل إلى الفرن بهذه الطريقة التى تؤثر على حجم وتكلفة جهاز الشفط المطلوب تركيبه ؛ وهذه حالة مخصوصة للأفران التى يزيد معدل الصهر فيها عن ١٠ طن / ساعة .



شكل (٤٢) وحدة الشحن المائلة ذات قادوس القاع الساقط .

تخطيط حوش التخزين Stock Yard Layout

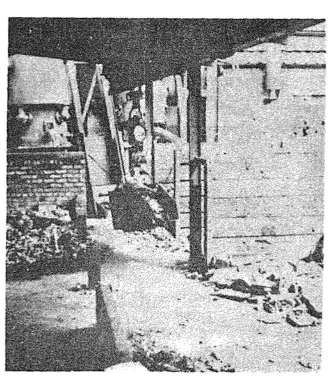
إن ميزة عملية الشحن الميكانيكية لايمكن الحصول عليها إلا إذا كان مخزون الخامات أقرب مايمكن من فرن الدست ، وبذلك يمكن إجراء عملية نقل الخامات من المخزن إلى معدات شحن الفرن فى نفس الوقت الذى يجرى فيه شحن الفرن بالمعدات الميكانيكية .

استخدام الميزان ذات القرص المدرج والمؤشر مع القادوس القلاب

The Use of Dial Weigh Scale and Tipping Skip

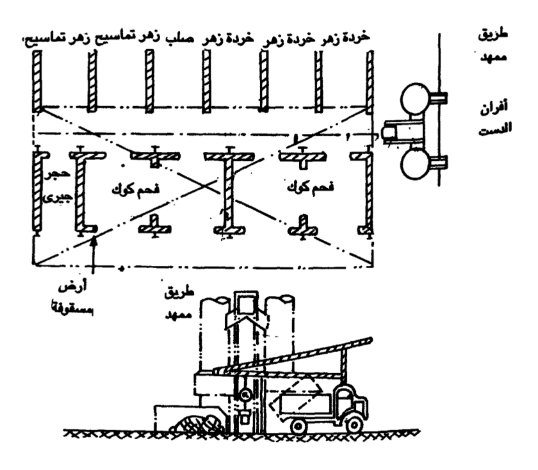
إذا كان الاستهلاك اليومى فى حدود ٢٠ – ٢٥ طن ومعدلات الصهر حوالى ٤ – ٥ طن / ساعة فإن عملية تخطيط حوش التخزين تتم بطريقة بسيطة ولكنها فعالة وذلك

باستعمال الميزان المعلق ذات المؤشر Suspended Dial Weigher مع استعمال نظام القادوس القلاب بعد تعبئته بالخامات المطلوبة للفرن Tipping System of Charge Make up . والشكل رقم (٤٣) يوضح نموذج مثالى ، حيث تنتظم بناكر التخزين Stock Bunkers على جانبى الممر الرئيسى والذى يثبت فوقه القضيب المعلق الحديدى Monorail . وهذا القضيب المعلق يحمل عربة ترولى خفيفة والتى بدورها تحمل ميزاناً معلقاً ذا مؤشر وقرص مدرج بالإضافة إلى قادوس قلاب . ويقوم العامل بدفع هذه العربة عبر الممر الرئيسى Central Pathway مع القيام بتجميع الخامات بالأوزان المطلوبة من البناكر المختلفة . ويتم عمل البناكر من الخرسانة المسلحة Reinforced Concrete ويفضل عملها من فلنكات السكك الحديدية القديمة Railway Sleepers . ويتم ترتيب البناكر لتصبح أوضاعها ملائمة لطبيعة عمل عربة الشحن القلابة ، ويتم تخزين الخامات المعدنية فى جانب واحد ، بينما يخصص الجانب الآخر من الممر لتخزين الكوك ، مع ضرورة عمل سقف لمخزن الكوك لحمايته من ظروف الطقس ، كما هو مبين بشكل رقم (٤٤) .



شكل(٤٣)
ميزان ذو قرص دائرى مع قادوس قلّاب .

عندما تكتمل الشحنة فى القادوس يقوم العامل بدفعه فى اتجاه الفرن ويقلبه فى قادوس الفرن القلاب Inclined Skip Charger . وهذا النظام يعتبر فى مقدور عامل واحد فقط القيام به لشحن فرن معدل صهره ٢ طن / ساعة . ومن الضرورى إضافة عامل آخر بمعنى أن الفرن الذى معدل صهره من ٢ - ٤ طن / ساعة يحتاج إلى عاملين اثنين .



شكل (٤٤) شكل عام يبين مخزن خامات يحتوى على
جهاز شحن مزود بميزان قرصى معلق وقادوس قلاب .

وينصح فى هذا المجال بإضافة قادوس قلاب آخر مركب على القضيب المعلق Monorail مع جعل هذا القضيب المعلق ملفوف على شكل حلقة مقفلة Loop وذلك للسماح بحركة العربات المعلقة فى اتجاه واحد فى طريق الذهاب والاتجاه الآخر للرجوع .

إن طريقة ترتيب وتنظيم بناكر التخزين تعتمد على مساحة الفراغ المتاحة خلف الأفران ، ومع ذلك فإن أساس تنظيمها يظل كما هو فى الغالبية العظمى من الأفران ذات الأحجام الصغيرة والمتوسطة .

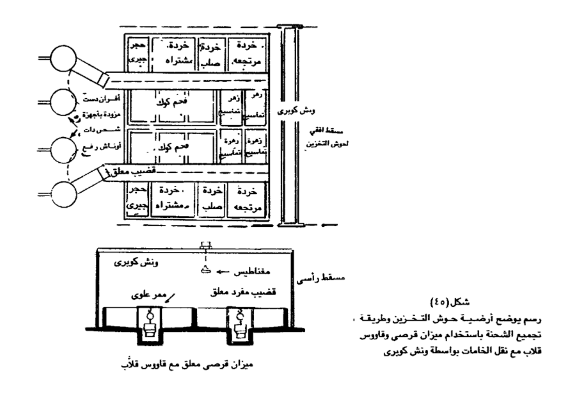
والتحديد الرئيسى لهذا النظام يعتمد على كمية الخامات التى يمكننا تخزينها ، والتى تكون فى متناول القادوس المعلق . إذا تم توريد الخامات بواسطة سيارة نقل قلاب Tipping Lorry ففى هذه الحالة لايمكن تخزين خامات بارتفاع أعلى من ٦٠ - ٩٠ سم

فوق مستوى الأرض . وهذا يعنى أن البنكر الذى سعته ٣ متر × ٣ متر يمكنه استيعاب مايعادل ١٥ – ٢٠ طن من الحديد الزهر أو حوالى ١٠ – ١٢ طن من خردة الحديد الزهر . وعملية تخزين الفحم تمثل هى الأخرى مشكلة ، وعلى وجه العموم فإنه من الصعب تخزين أكثر من ٢٥ – ٣٠ طن فى بنكر يتم تفريغ سيارة لورى قلاب مرتين داخله . وكلما زاد الاستهلاك اليومى زادت صعوبة تخزين كل الخامات الضرورية بالقدر الكافى بالقرب من الفرن ، ويصبح من الضرورى إجراء تعديل لتجنيب العامل من المشى لمسافات طويلة لتجميع الخامات ونقلها من أماكنها البعيدة .

وعلى أية حال فإن نظام القضيب المعلق يمكن الاعتماد عليه حتى فى حالة معدلات الاستهلاك العالية ، وذلك باستعمال بناكر قريبة من القضيب المعلق ومعدة لتخزين خامات يوم بيوم Day-to-Day Stocks . وتبعا لذلك بالضرورة يتحتم تخصيص مساحة مفتوحة أخرى تمثل المخزن الرئيسى ، ولابد من إيجاد وسيلة معتادة لنقل الخامات من المخزن الرئيسى إلى المخزن اليومى ، ويمكن استغلال أى قطعة أرض لجعلها مخزناً رئيسياً مع استعمال اللوارى أو اللوادر ذات الصندوق الأمامى فى نقل الخامات ، وهذا النظام يمكن أن يؤدى إلى زيادة الحاجة إلى الأيدى العاملة . ولهذا السبب فإن تخطيط حوش التخزين اللازم لمعظم المسابك الكبيرة يعتمد أساساً على استعمال ونش كوبرى علوى Overhead Gantry Crane .

أوناش القنطرة (الكوبرى) العلوية Overhead Gantry Cranes

فى مثل هذه الأحوال فإن الونش العلوى يقوم بتغطية مساحة كافية من الأرض تمتد بين المخزن الرئيسى والمخزن اليومى ، والونش مزود بوصلة مغناطيسية Magnet Attachment ، تستعمل فى نقل الخامات من المخزن الرئيسى إلى المخازن الفرعية . ويتم تجميع الشحنة من بناكر التخزين اليومى ، وذلك باستخدام نظام القادوس القلاب المعلق . والشكل رقم (٤٥) يصور أحد الأنظمة والتى يقوم بها الونش العلوى بتغطية مساحة المخزن الرئيسى وذلك ليخدم زوجين من أفران الدست . وبينما تكون أقصى طاقة تحميل بالأيدى العاملة تصل إلى ٢ – ٣ طن / ساعة عند تحميل زهر التماسيح وخردة الزهر نجد أن هذا النوع من الأوناش يصل معدلاته لنقل المواد المعدنية إلى ١٠ – ١٥ طن / ساعة ، بالإضافة إلى أن هذا الأوناش يمكنه القيام بملء البناكر بالخامات تماماً بدرجة أكبر بكثير ، مما يمكن



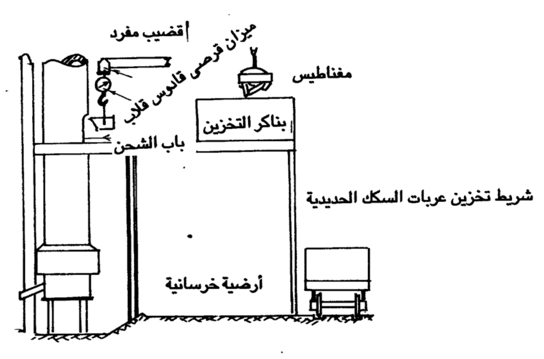
شكل(٤٥)
رسم يوضح أرضية حوش التخزين وطريقة ، تجميع الشحنة باستخدام ميزان قرصي وقاووس قلاب مع نقل الخامات بواسطة ونش كوبرى

شكل(٤٥)

عمله بواسطة اللوارى أو بواسطة العمال أنفسهم . وفى الحقيقة يتوقف ارتفاع كومة الخامات على مدى متانة حوائط البناكر ذاتها .

إن مبدأ استخدام الونش العلوى ذات المغناطيس بهذه الطريقة يمكن أن ينفذ على طريقة الشحن من على الصندرة ، حيث إن الظروف تسمح بذلك خصوصاً إذا كانت الصندرة جاهزة ومتينة ، وبذلك يصبح أمر تركيب وحدة رفع ميكانيكية ، لشحن الفرن من الأمور التى تستوجب الأهتمام ، ولاداعى لتحمل تكاليف إقامتها الباهظة .

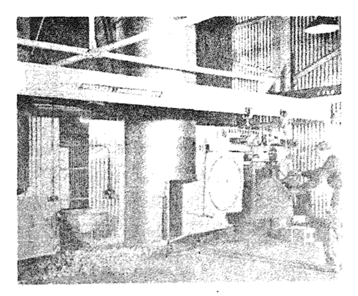
وشكل رقم (٤٦) يوضح مثالاً على مثل هذه الحالة ، حيث يغطى الونش العلوى المنطقة الخلفية لفرن الدست ، والتى تشمل الصندرة ، كما يستعمل لتفريغ حمولات السيارات النقل على أرضية المخزن الرئيسى، وفى نقل الخامات إلى بناكر التخزين اليومى الموجودة على صندرة الفرن . ويقوم القادوس المعلق فى الميزان بتجميع الشحنة من البناكر المختلفة وتغذية الفرن بها ، وهذه الطريقة فعالة بفضل استخدام القضيب المعلق والميزان المعلق والقادوس القلاب شكل (٤٧) . وإذا كانت معدلات الصهر هى نفسها بدون تغيير فإن هذا النظام لايحتاج إلى عمال أكثر من عدد العمال الضرورى فى النظام الذى يعتمد على ونش علوى Gantry Crane ووسيلة شحن ميكانيكية .



شكل (٤٦) صندرة لشحن الدست مزودة بونش مغناطيسى

والمشكلة الكبرى تتمثل فى طريقة مناولة فحم الكوك والحجر الجيرى ونقلها إلى صندرة الفرن ويمكن استعمال قادوس على شكل كباش Grab Bucket معلق بالونش ، ولكن هذه الطريقة غير مفضلة لنقل الفحم عموماً . والطريقة التالية هى أن تملأ قواديس كبيرة Large Skips باستخدام العمالة اليدوية ثم القيام برفعها إلى صندرة الفرن بواسطة الونش

الكوبرى Gantry Crane .


شكل (٤٧) عملية تجميع الشحنة باستخدام ميزان ذو قرص دائرى وقادوس قلاب عند أرضية الصندرة

وعند استخدام الونش بهذه الطريقة فيجب أن يتم تركيبه فى مستوى أعلى من المستوى الذى يتم تركيبه فيه عند استخدام نظام شحن ميكانيكى خاص بالفرن .

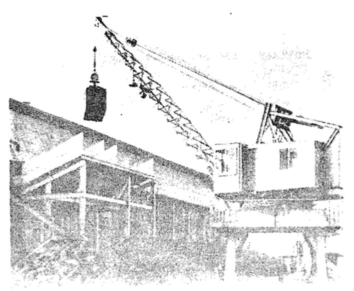
الونش الدوار

Mobile Crane

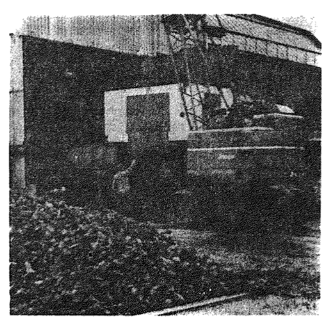
إن عملية تركيب ونش كوبرى يستلزم توافر مساحة خلف الفرن على شكل مستطيل Rectangular Area فى مستوى الأرضية . وفى أحيان كثيرة لاتسمح طبيعة المكان بتوافر هذه المساحة . وفى هذه الحالة يمكن استعمال ونش من النوع الدوار ذى الذراع المرفاع Mobil Jib Type Crane حيث إن هذا النوع من الأوناش يكون قادراً على العمل فى المخازن التى تتميز بأن أرضيتها غير منتظمة الشكل Irregular Shape وشكل رقم (٤٨) يبين طريقة عمل ونش قنطرى بوابى Portal Jib Crane لتفريغ حمولة عربة نقل بضائع بالسكك الحديدية Rail-way Wagons ولرفع الخامات إلى بناكر التخزين اليومى ، والتى تكون موجودة فى مستوى صندرة الفرن . والأوناش القنطرية البوابية من هذا النوع تتحرك على قضبان سكك حديدية وعلى هذا فإن عملها يكون مقصوراً على المساحة التى تغطيها فقط .إن استعمال هذا النوع من الأوناش يعتبر مناسباً خصوصاً فى الحالة التى سبق توضيحها بسبب طبيعة المكان ، الذى يأخذ شكل المثلث ، وبسبب دخول الخامات محمولة على عربات بضائع السكك الحديدية .

والونش الدوار الذى يعمل بوقود الديزل Adiesel Operated Mobile Jib Crane

يعتبر أكثر مناورة وأسهل فى التحول والدوران More Versatile حيث إنه يمكن استعماله فى أى مكان فى المخزن ؛ وأكثر من هذا يمكنه الدخول إلى داخل منشآت المسبك التى يكون ارتفاعها معقولاً ومناسباً . كما يمكن تجهيزه بمغناطيس Magnet أو قادوس من النوع الكباش Grab Bucket ، لكن عموماً تكون سرعته فى النقل أقل من سرعة ونش الكوبرى .



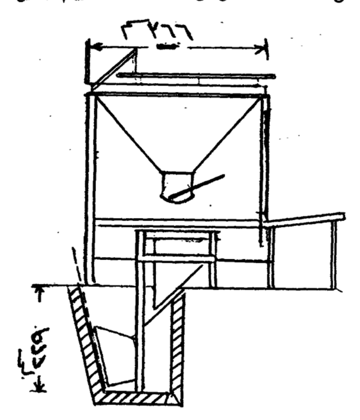
شكل (٤٨) إستعمال الونش ذو الرافعة (الزراع) فى نقل الخامات .



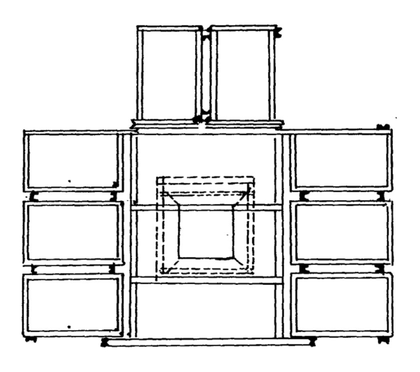
شكل (٤٩) إستعمال الونش النقالى فى نقل الخامات .

إن استعمال الونش المغناطيسى الدوار Mobile Magnet Crane يذكر على سبيل المثال حيث يكون له أهمية خصوصاً عند استعمال قادوس ثابت للوزن Stationary Weigh Hopper بدلاً من استخدام ميزان نقالى بمؤشر Travelling Dial Weigher إلى جانب قادوس قلاب Tipping Skip لتجميع الشحنات ، والشكل رقم (٤٩) يوضح صورة لونش من النوع الدوار الذى يعمل بوقود الديزل .

والشكلان رقما (٥٠ ، ٥١) يوضحان المسقط الأفقى Plan والمسقط الرأسى Ele-vation للترتيبة الخاصة بتجميع الشحنة Charge Make-up Arrangement داخل المخزن. وقواديس الوزن Weigh Hoppers من هذا النوع يستعمل بصورة متزايدة فى المسابك الكبيرة . وهى تتركب أساساً من سلة (قادوس) ذات قاع ساقط Drop Bottom Bucket والتى تكون جزءاً مكملاً لآلية الوزن والتى توضع مباشرة فوق القادوس الموجود على ماكينة الشحن المائلة Inclined Charging Machine . ويتم تجميع الشحنات ووزنها



شكل (٥٠) استخدام قادوس وزن مع ونش متحرك ناقل للخامات .



شكل (٥١) مسقط أفقى لمجموعة بناكر تخزين تستخدم الونش المتحرك الناقل للخامات .

فى قادوس الوزن ويتم بعدها فتح أبواب القاع Bottom Doors لتدفع الشحنة إلى قادوس الشحن Charging Skip or Bucket .

وفى هذا المثال نجد أن ظروف المكان الموجود خلف الأفران لاتسمح باستعمال الونش الكوبرى وخامات الشحن كانت تتوزع على مساحات واسعة بواسطة سيارة نقل قلاب . وقد أصرَّ هذا المسبك على استعمال ونش مغناطيسى دوار لملء صناديق ثلاثية الجوانب Three Sided Bins بالخامات المعدنية فى شحن الفرن . ويتم فك المغناطيس بعد ذلك ، ثم يستخدم الونش لنقل الصناديق ووضعها على مزلقان منحدر Sloping Ramp يحيط بقادوس الوزن والذى يرتفع لأمتار قليلة فوق مستوى الأرضية . وقد تم إعداد أنظمة تسمح بهبوط ماكينة الشحن إلى مستوى أقل من مستوى الأرضية ، وبذلك يمكنها استقبال الشحنات التى تنزل من قادوس الوزن .

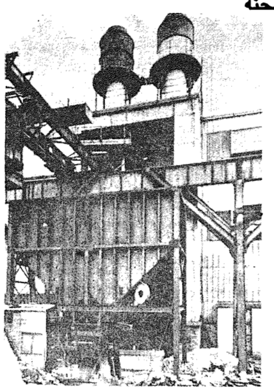
وكل صندوق من الصناديق الثلاثية الجوانب يسع حوالى ٢ طن من زهر التماسيح أو الخردة ويستخدم الونش الدوار أيضاً فى ملء قادوس فحم الكوك الموضوع فوق قادوس الوزن . ويتم ملء قادوس ذى قاع ساقط بفحم الكوك زنته حوالى ٧٥٠ كجم باليد فى المخزن ، ثم يتم نقله ووضعه فوق قواديس الكوك بواسطة الونش الدوار ذات ذراع الرفع Mobil Jib Craen . وفى هذه الحالة يتم استخدام اثنين من العمال للعمل على الصندرة المحيطة بقادوس الوزن فى تجميع الشحنات ويتم تشغيلهم بهذه الطريقة لمدة أربع ساعات يومياً لإنتاج ٣٠ طن من المعدن المنصهر . أما عامل الونش (الونَّاش) Crane Operator فيتم تشغيله نصف يوم فقط فى نقل الخامات . وبذلك يصل تكلفة العمال Labour Expen-diture إلى حوالى ١٣ رجل . ساعة فى الصهرة الواحدة .

وقبل هذه الإنشاءات كانت أفران الدست تشحن بالأيدى العاملة من الصندرة المعتادة حيث يتم استخدام أربعة عمال طوال اليوم فى تجميع الخامات من حوش التخزين وفى شحن الفرن نفسه . وكانت الصبة اليومية يلزمها ٣٠ – ٣٢ رجل . ساعة .

استخدام المغناطيس فى تجميع الشحنة

Use of Magnets for Charge Make-Up

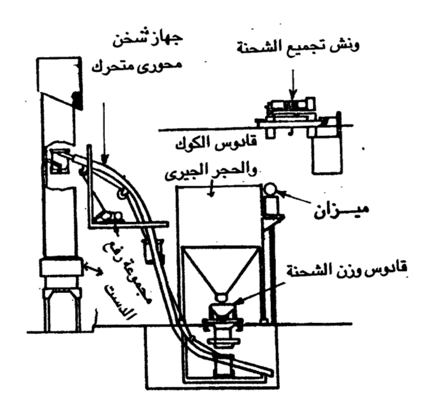
فى وقتنا الحاضر يزداد الطلب على استعمال أوناش الكوبرى Gantry Cranes المزودة بمغناطيس بغرض تجميع الشحنة Charge Make up تماماً كما فى طريقة استخدام المغناطيس فى نقل الخامات المعدنية Reclamation of Metallic Ma-terials وكمثال على تلك النوعية الصورة الموضحة فى شكل (٥٢) .



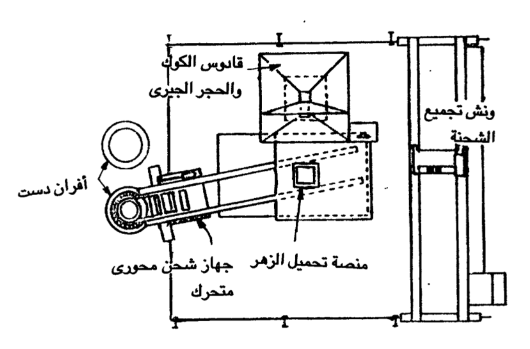
شكل ٥٢ استعمال ونش الكوبرى المتحرك مع المغناطيس

والتجهيزة التى تعتبر أكثر انتشاراً واستعمالاً هى استخدام قادوس للوزن مزود

بقاع ذى بوابة للتفريغ Bottom Discharge Gate موضوعة فى مستوى الأرض Floor Level كما هو موضح فى الأشكال أرقام (٥٣ ، ٥٤ ، ٥٥) . كما يتم استخدام طريقة الشحن المائل بالقادوس Inclined Bucket Charger بغرض الشحن الفعلى للفرن نفسه ، ويعتبر تصميمه كما لو كان فى وضع مستقر ، حيث يقوم القادوس ذو القاع القابل للسقوط Drop Bottom Bucket بالمرور من تحت قادوس الوزن ويقوم الونش الكوبرى بتجميع الشحنات فى قادوس الوزن ، وذلك بالتحرك فوق بناكر التخزين Stock Bunkers ويمكن التحكم فى الفيض المتغير للمغناطيس بدقة ، حيث إن المغناطيس يكون قادراً على إسقاط الخامات قطعة قطعة . ومعدل المناولة بهذه الطريقة Handling Rate يكون أعلى بكثير من المناولة اليدوية حيث يمكن الحصول على معدلات صهر تتراوح بين ١٥ – ٢٠ طن / ساعة بالاستعانة باثنين فقط من العمال أحدهما يقوم بالعمل على الونش والآخر يقوم بمراجعة الوزن على قادوس الوزن Check-Weighing .

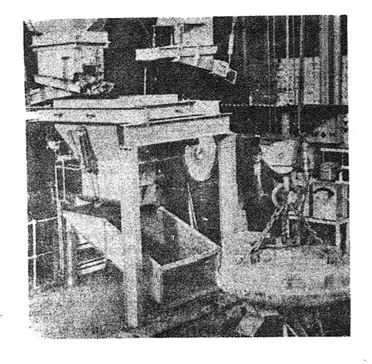


شكل (٥٣) استعمال ونش لتجميع الشحنة وقادوس وزن مع جهاز الشحن المحورى المتحرك .

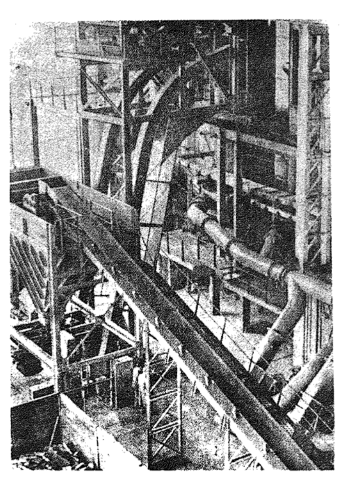


شكل (٥٤) استعمال ونش لتجميع الشحنة وقادوس وزن
مع جهاز الشحن المحورى المتحرك.

وعلى الرغم من أن مراقب الميزان Check-Weigh Man يمكنه استخدام كوريك أو جاروف Shovel لجرف الكوك والحجر الجيرى ، إلا أن معظم هذه النوعية من أنظمة الشحن تضم قواديس لشحن هذه الخامات .وهذه القواديس قد يعاد ملؤها بواسطة كباش Grab Bucket أو قادوس قلاب



شكل (٥٥) استعمال ونش التجميع وقادوس
الوزن مع جهاز الشحن المحورى ذو القادوس .



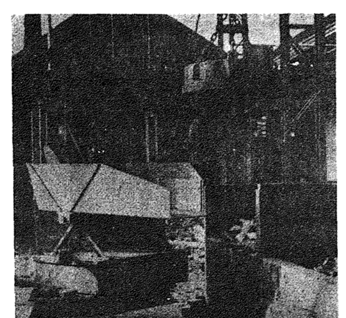
Skip مركب على ونش كوبرى أو من الأفضل بواسطة سير ناقل مائل Belt Inclined Conveyer من مستوى الأرضية كما هو موضح فى الشكل رقم (٥٦) ويتم تزويد هذه القواديس بهزاز ذى سطح مائل Vibratory Chutes لجعل الكوك والحجر الجيرى قادراً على النزول إلى قادوس الوزن .

شكل (٥٦) استخدام سير ناقل مائل للأخزان الخامات .

ونسوق فى هذا المجال مثالين لتوضيح اختلاف نظام المغناطيس فى تجميع الشحنة ، والنوع الأول موضح فى الشكلين رقمى (٥٧ ، ٥٨) وهو غير عادى ، حيث إن قادوس الوزن يشكل جزءاً لا يتجزأ من ونش الكوبرى المغناطيسى .

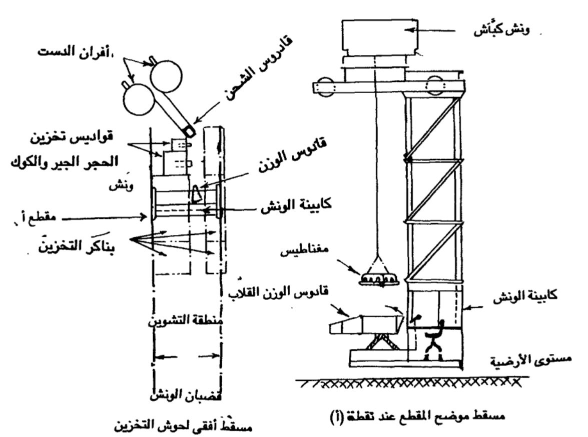
الغرفة الخاصة بتوجيه الونش Crane Cabin تقع فى الفراغ الموجود بين قنطرتى الونش Crane Span وتوضع أكثر إنخفاضاً من العادى وفى الحركة الطولية فإن هذه الغرفة تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل الطريق فى كل جانب حيثما توضع بناكر التخزين .

ويستعمل المغناطيس فى الحركة العرضية لنقل الخامات من البناكر إلى قادوس الوزن ، ويتحرك الونش وتصبح عملية تجميع الشحنة تحت سيطرة العامل الموجود فى الغرفة المخصصة للتوجيه cabin ، وعندما تكتمل عملية تجميع الشحنة تتحرك الغرفة Cab إلى الأمام فى اتجاه الفرن وتتفتح بوابة قاع قادوس الوزن Bottom Gate لتسمح للشحنة



شكل (٥٧) طريقة استخدام المغناطيس

فى تجميع الشحنة .



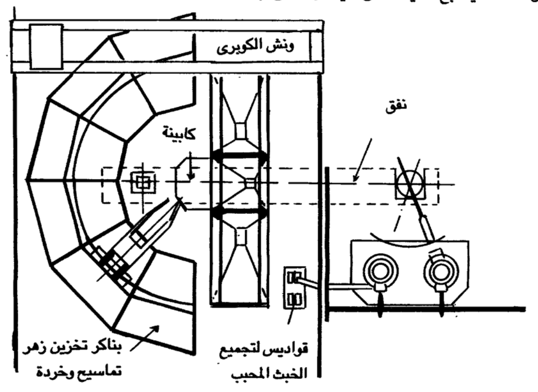
شكل (٥٨) تخطيط يوضح نظام استخدام المغناطيس فى تجميع الشحنة (أنظر الشكل رقم ٥٧)

بالسقوط فى القادوس الخاص بجهاز الشحن المائل Inclined Skip Hoist Charging Machine . أما العامل الثانى فيقوم بالعمل على تغذية الكوك والحجر الجيرى مباشرة إلى قادوس شحن الفرن Skip Charger أو بالتناوب إلى قواديس مزودة بمغذى هزاز Vibratory Feeder يمكن عن طريقها تغذية قادوس الوزن بالخامات .

وفى حالة الصهرات الصغيرة والمتوسطة يمكن للمغناطيس أن يقوم أيضاً باعادة شحن بناكر التخزين ، ولكن فى الصهرات الكبيرة فإنه يصبح من الضرورى تركيب ونش مغناطيسى آخر عادى على مستوى أعلى من مستوى ونش الشحن ؛ تكون مهمته شحن بناكر التخزين فقط .

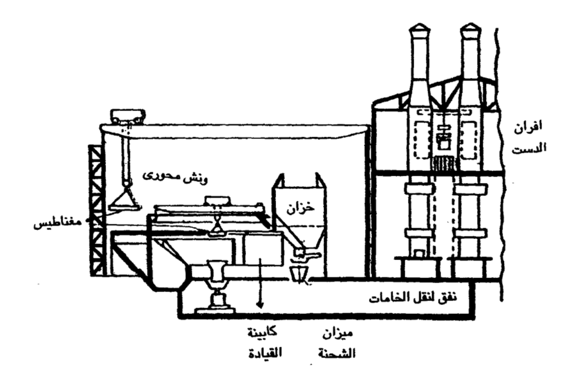
وحدة الشحن الأتوماتيكية Automatic Charging Plant

يعتبر المثال الموضح فى شكلى (٥٩ ، ٦٠) من أكثر الأمثلة أهمية لأنظمة الشحن ، وفى مثل هذه الحالة فإن عملية الشحن بأكملها تجرى بطريقة أتوماتيكية بالكامل ، وعامل واحد فقط يصبح كافياً لشحن مايعادل ٨ طن / ساعة .



شكل (٥٩) المسقط الأفقى لوحدة شحن الخامات الاوتوماتيكية

ويتم رص بناكر التخزين اليومى الخاصة بالخامات المعدنية على شكل نصف دائرة وتقع غرفة عامل التحكم Operator Control Cabin عند مركز هذه الدائرة ويستخدم ونش من النوع المركزى أو نصف القطرى Radial Type Crane والذى يكون محوره عند كابينة التحكم ويتم تزويده بمغناطيس ذو تحكم فيضى متغير Varible Flux Control Magnet بهدف تجميع الشحنات المطلوبة فى قادوس مركزى الوزن Centrally وتسقط الشحنة الكاملة من قادوس الوزن إلى قادوس الشحن ذات القاع الساقط Drop Bottom Charging Bucket والذى يكون محمولاً على عربة نقل منخفضة Bogie ، حيث تنقل خلال نفق Tunnel إلى مجموعة الشحن الميكانيكى لفرن الدست Cupola Charging Hoist . وهى عبارة عن ونش رأسى Vertical Hoist يقوم برفع قادوس الشحن حتى مستوى العتبة السفلية لشباك الشحن Charging-Sill ، حيث يتم التقاطه بواسطة كمرة حديدية مخصصة للشحن ومركبة على قضيب معلق Monorial Charging Beam ، والتى تقوم بتفريغ القادوس فى فرن الدست .



شكل (٦٠) المسقط الرأسى للوحدة الاوتوماتيكية لشحن الخامات

ويتم وضع قادوس للحجر الجيرى سعة ٤٥ طن وقادوسين لفحم الكوك سعة كل منهما ٣٥ طن بجوار كابينة التحكم . ويتم شحن الكميات المطلوبة من هذه الخامات بطريقة أوتوماتيكية عن طريق المغذيات الهزازة Vibratory Feedrs المركبة على هذه القواديس أو البناكر إلى قادوس الوزن المستقر على عربة نقل منخفضة Transfer bogie على أرضية النفق ، وبالإضافة إلى الموازين ذات المؤشر dial scales الموجودة فى كابينة التحكم فإن كل مجموعة آلية ميكانيكية للوزن تكون متصلة بجهاز تسجيل طابع Print-Out System لتسجيل الوزن لكل نوع من أنوا ع الخامات Weigh Recording ومكتب عامل التحكم Control Desk (لوحة التحكم) يحمل لوحة اشارات Mimic Panel والتى توضح آلية الشحن فى أى وقت Charging Michanisms . وكل من بناكر تخزين الفحم والحجر الجيرى وبناكر التخزين اليومى يتم إعادة ملئها بواسطة ونش الكوبرى المغناطيسى المعتاد ، والذى يغطى مساحة حوش التخزين كله .

الباب التاسع

معدات وطرق الإشراف على العمل فى المسبك

Shop-Floor Controls and Equipment

إن الهدف الأساسى لضبط تشغيل فرن الدست هو الحصول على المعدن بالمعدل المطلوب Desired Rate والتركيب الكيميائى المناسب Suitable Compostion ؛ ودرجة الحرارة المناسبة Temperature وذلك لإنتاج مسبوكات بصورة مرضية Satisfactory Castings .

وزن المعدن وفحم الكوك Weighing Metal and Coke

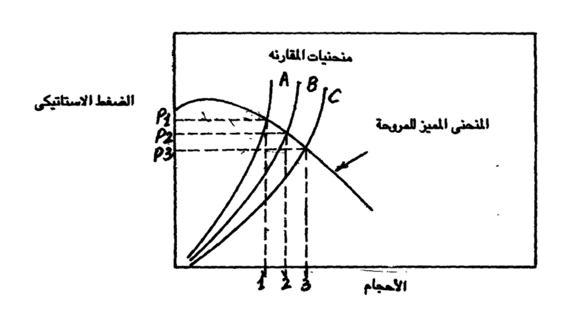
يمكن القول ببساطة أنه هناك ثلاثة متغيرات فى عمليات تشغيل أفران الدست هى : المعدن والكوك والهواء . وبالنظر إلى المعدن ؛ فيجب معرفة تحليل حديد التماسيح Pig Iron والخردة المشتراه Bought Scrap . أما الخردة المرتجعة من المسبك نفسه Foundry Return Scrap والتى يكون تركيبها معروفاً فيجب فصلها عن بقية الخامات Segregated ، وإذا كان مطلوباً الحصول على تركيب محدود ومضبوط للمعدن فلا مفر من وزن الخامات المعدنية فى شحنة الفرن بدقة شديدة .

إن أبسط طرق الإشراف المفروض على فحم الكوك هى عملية القيام بوزنه ؛ ويمكن إجراء هذا باستعمال نظام القضيب المعلق البسيط لإعدادالشحنة Simple Monorail Reclamation System أو باستخدام أنظمة قياس الشحنة التى تكون أكثر تضليلاً more sophisticated Charging Systems ، وذلك باستعمال قواديس وزن Weighing Bunkers لفحم الكوك والحجر الجيرى . إن تدريج القياس Calibration للموازين يجب أن يكون متناسباً مع حجم الشحنة الموزونة . فمثلاً لا يمكن الحصول على وزن بدقة كيلو جرام إذا كانت تقسيمة القياس Subdivision of the Scale على أساس وحدة الوزن تمثل خمسة كيلوجرامات .

ويدور بعض الجدل Argument حول إمكانية القياس الأدق للفحم عن طريق الحجم Volume أو عن طريق الوزن Weight وأيهما أفضل ، حيث إن نسبة الرطوبة فى فحم الكوك يمكن أن تتغير من صفر إلى ١٢٪ . والمشاكل التى يمكن أن تظهر مع طريقة القياس بالحجم هى ، الاختلاف فى حجم الكوك Coke Size ، والوضع المثالى الذى يجب به ملأ القادوس الخاص بكل شحنة كوك . وهذا يعنى أنه إذا تغيرت شحنة الكوك فيجب أيضاً تغيير القادوس (الوعاء) الخاص بقياس الكوك Coke Container .

ضبط كمية الهواء Blast Control

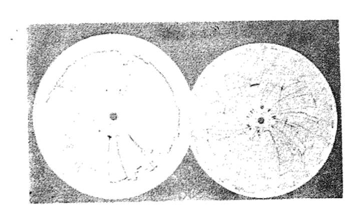
من الضرورى ضبط حجم الهواء ، حيث إن إنتاج طن واحد من المعدن يحتاج إلى حوالى طن واحد من الهواء تقريباً . ولضبط كمية الهواء فإن العديد من أفران الدست يتم تزويدها بمقياس ضغط عند قميص الهواء Wendbelt Pressure Gauges ومالم يتم استخدام هذا المقياس بحسن تقدير ومهارة وكفاءة Discretion ، فإنه قد يعطى المزيد من المعلومات الخادعة والمضللة Misleading Information والسبب فى هذا موضح فى شكل (٦١).



الشكل (٦١) الخواص المميزة للمروحة

وهذا الرسم البيانى يبين ثلاثة منحنيات لطريقة المقاومة Resistance والتى تمثل خصائص فرن الدست تحت ظروف التشغيل المختلفة . وهذه المنحنيات تم مقارنتها بالمنحنى المميِّز الفعلى للمروحة المستخدمة .

المنحنى (B) يمثل التشغيل العادى لفرن الدست . ويوضح أن المروحة سوف تضخ كمية هواء حجمها V_2 عندما يكون ضغط قميص الهواء P_2 . وإذا حدث على أية حال زيادة فى المقاومة فى داخل الفرن Cupola Stack يرجع إلى انسداد الوبنات Blocked Tuyeres مثلاً ، فإن الضغط عند قميص الهواء سيزداد طبعاً وسينخفض حجم الهواء المدفوع من المروحة إلى الفرن كما هو موضح بالمنحنىَ (A) ، وفى الواقع فإن عامل الفرن سيلاحظ الزيادة فى ضغط قميص الهواء من P_2 إلى P_1 ، وسيعتقد أن كمية الهواء المدفوعة إلى الفرن أكبر من اللازم Over Blown . وعندئذ سيقوم بخفض حجم الهواء حتى يعود إلى الضغط P_2 ، وسيؤدى هذا إلى زيادة خطورة Aggravate الوضع القائم ، حيث إن تخفيض حجم الهواء سيؤدى بالتالى إلى جعل الفرن يعمل فى ظروف نقص الهواء Underblown .

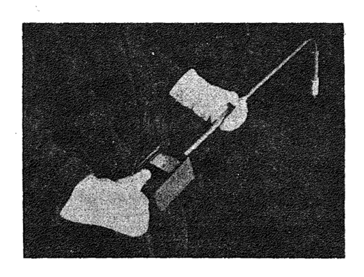


شكل (٦٢) رسم بيانى مسجل يبين حجم الهواء الداخل للفرن فى حالة التشغيل المستمر (على اليسار) وفى حالة التشغيل المتقطع (على اليمين) .

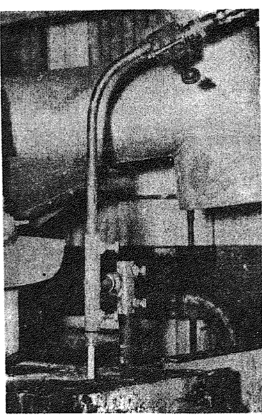
ولهذا السبب ، فإنه من الأفضل ضبط إمداد الهواء باستعمال مبين الحجم المسجل Volume Indicator Vecorder . والرسم البياني الممثل Typical Chart لهذا النوع من الأجهزة مبين فى الشكل رقم (٦٢) . ومن الملائم ملاحظة أن عملية تشغيل مروحة الهواء بطريقة متقطعة Intermittent أو الموضحة فى أحد الرسومات المسجلة سوف تؤدى إلى إنتاج معدن ذات درجة حرارة أقل مما لو تم تشغيل الفرن بطريقة مستمرة ، كما هو موضح بالرسم الآخر .

درجة حرارة المعدن Metal Temperature

يمكن قياس درجة حرارة المعدن باستخدام المزدوج الحرارى المغمور المعتاد الذى يتكون من البلاتين / البلاتين والروديوم Conventional Platinum / Platinum-Rhodium Imersion Thermocouple ، والذى يستعمل فيه جراب غلاف من السيليكا أو الجرافيت Silica or Graphite Sheath . وعلى الرغم من أن الغلاف الجرافيتى ذو عمر طويل فى الأستعمال Longer Working إلا أن استجابته أبطأ Slower Response



شكل (٦٣) جهاز قياس الحرارة (البيروميتر) ذو الرأس القابلة للتغيير (الخرطوشة) .

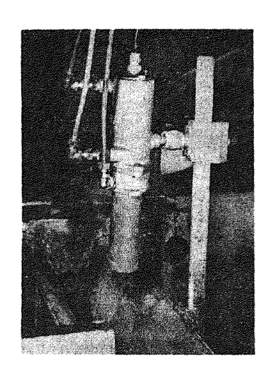


شكل (٦٤) الازدواج الحرارى المغلف بالالومينا .

نسبياً من استجابة غلاف السيليكا Silica Sheath . ولإجراء حساب درجة حرارة المعدن بطريقة سريعة Rapid يتم استخدام نوع من المزدوجات الحرارية التى لايعاد استعمالها مرة أخرى وتسمى Expendable type ، حيث تستخدم مرة واحدة فقط . وهذا النوع يلقى رواجاً واسعاً . والشكل رقم (٦٣) يوضح شكلاً لأحد أنواعه .

يمكن قياس درجة حرارة المعدن بالاستعانة بجهاز بيان أو تسجيل مقياس الجهد الكهربى Potentiometric Indicator or Recorder . وإذا تم تسجيل درجة حرارة المعدن فيصبح من السهل عمل ارتباط Cor-related مع المعلومات الأخرى الخاصة بأنظمة تحليل الخردة Scrap Analysis Systems . وفى بعض الأحيان يكون من الضرورى الحصول على تسجيل مستمر لدرجة الحرارة Continuous Temperature Record للمعدن المصبوب من الفرن . ويمكن الحصول على هذا التسجيل باستخدام المزودج الحرارى ذات الغلاف المصنوع من الألومنيا Alumina Sheathed Thermocouple ، كما هو موضح بالشكل رقم (٦٤) . وعيوب هذه الطريقة أن الأغلفة غالية الثمن expensive ، وأنها سريعة التأثر بالصدمات الحرارية والميكانيكية Susceptible to Thermal & Mechanical Shock .

وقد وجد أن جهاز قياس الحرارة بالإشعاع (البيروميتر) Radiation Pyrometer يمكنه إعطاء نتائج دقيقة وموثوق فيها على شرط أن تجرى عملية الفحص على تيار معدن متدفق ونظيف ، على أن تكون منطقة الفحص خالية تماماً من الأدخنة Fumes . ويمكن تنفيذ هذا الأسلوب الفنى بوضع البيروميتر عند فتحة الصب أو معلقة الفرن أو فوق فتحة خزان المعدن (البوشة) ، كما هو موضح بالشكل رقم (٦٥) .



شكل (٦٥) جهاز قياس الحرارة بالإشعاع

اختبارات التفتيش Control Tests

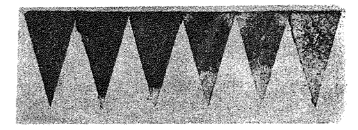
وهى تضم كلاً مما يأتى :

أ – اختبار التبريد المفاجئ Chill Test .

ب – اختبار التحليل الحرارى Thermal Analysis .

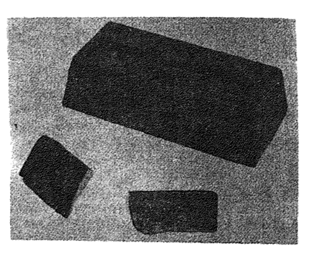
أولاً : اختبار التبريد المفاجئ Chill Test :

يعتبر اختبار التبريد المفاجئ هو الشكل الوحيد المتاح والممكن لمراقبة الجودة للسبّاك . ويُستخدم الاختلاف فى خواص التبريد كمؤشر لبيان نوع الحديد الزهر أو لبيان جودة وكفاءة عملية التطعيم Efficiency of Inoculation Process . والشكل رقم (٦٦) يبين



شكل (٦٦) عينات إختبار المشط

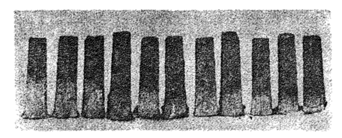
مكسر بعض عينات من نوع المشط Wedge Test Pieces ، أما الشكل رقم (٦٧) فيبين شكل قالب تشكيل العينة . ويعتبر اختبار التبريد المفاجئ بالضغط (التصقيع) Forced Chill Test أكثر حساسية More sensitive من اختبار المشط Wedge Test أما الشكل رقم (٦٨)



شكل (٦٧) عينة إختبار مع الدالليك الرملى للمشط.

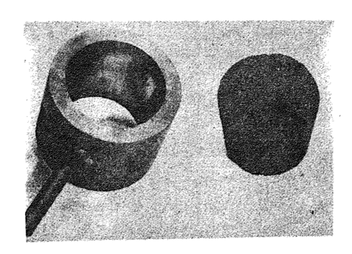
فيبين سلسلة Range من عينات اختبار التبريد المفاجئ . والعينة التى بها أكبر عمق تبريد Greatest Depth of Chill يكون قيمة المكافئ الكربونى لها حوالى ٣.٧٤ Carbon Equivalent Value ، بينما العينة التى بها أقل عمق تبريد Smallest Depth of Chill يكون المكافئ الكربونى لها ٤.٣٢ . أما الشكل رقم (٦٩) فهو يبين شكل المبرد Chiller

والدليك Core اللذين يتم استخدامهما فى عمل اختبار التبريد المفاجئ باستخدام الضغط. ومقاسات عينة الاختبار هى ٦×٣٠×٥٠ مم . هذا ويتم وضع الشق الطولى



شكل (٦٨) عينات إختبار التبريد المفاجئ (التصقيع) تحت الضغط.

الموجود بالدليك فى مواضع مختلفة داخل الحلقة عند كل اختبار وذلك لتجنب التسخين الزائد الموضعى للمبرد Localized Overheating ، وبالتالى تجنب انخفاض كفاءة التبريد.

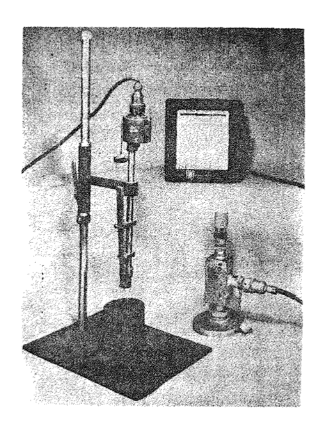


شكل (٦٩) مبرد حلقى .

ثانياً : التحليل الحرارى Thermal Analysis

إن أعظم فائدة لتفتيش الجودة ظهرت بخصوص تحديد تركيب المعدن هى ظهور جهاز التحليل الحرارى . وفى هذا الأسلوب يتم صب عينة من المعدن المنصهر فى قالب (عادةً مايكون القالب من النوع الذى يستعمل لمرة واحدة Expendable » وفى اثناء برودة

هذه العينة يقوم هذا الجهاز برسم منحنى التبريد Cooling Curve لهذه العينة بطريقة أتوماتيكية Automatically وتسجيله على مسجل لدرجة الحرارة Temper-ature Recorder . أما درجة الحرارة التى يحدث عندها الثبوت الحرارى بعد السيولة Liquidus Arrest Temperature التى تم تسجيلها على الجهاز فمن الممكن عمل علاقة متبادلة Correlated بينها وبين قيمة المكافئ الكربونى لخط سيولة المعدن Liquidus . ويمكن صياغة هذه العلاقة كما يلى :

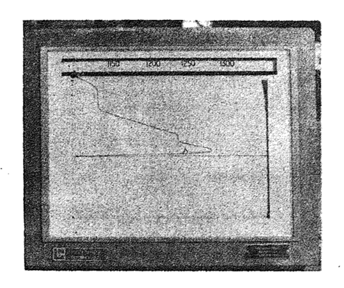


شكل (٧٠) جهاز قياس المكافئ الكربونى CEL

$$CEL = \%TC + \frac{\%Si}{4} + \frac{\%P}{2}$$

حيث CEL هى Carbon Equivalent Liquidus Value . وهذا يعتبر مرشداً جيداً لتركيب حديد الزهر ، ولكنه لايعطى أى بيان أو توضيح لحدود أو مستويات كل عنصر على حدة فى المعدن . والشكل رقم (٧٠) يوضح شكل جهاز التحليل الحرارى الذى يقوم بتحديد قيمة المكافئ الكربونى لخط السيولة . وعلى أية حال فإن العينة إذا تم تبريدها وأعطت مكسراً أبيض بدلاً من المكسر الرمادى بسبب استعمال طلاء التليريوم ، فإن منحنى التحليل الحرارى سيظهر درجات الثبوت الحرارى لكلٍ من خط السيولة والإيوتكتيك Liquid-us and Eutectic Arrest Temperatures كما هو موضح فى الشكل رقم (٧١) ودرجتا الحرارة هاتان تحددان مستوى وحيد للكربون فى تركيب حديد الزهر ، وباستبدال هاتين القيمتين عن طريق حاسب الكربون (الموضوع بواسطة بكيرا) فإنه يصبح من الممكن

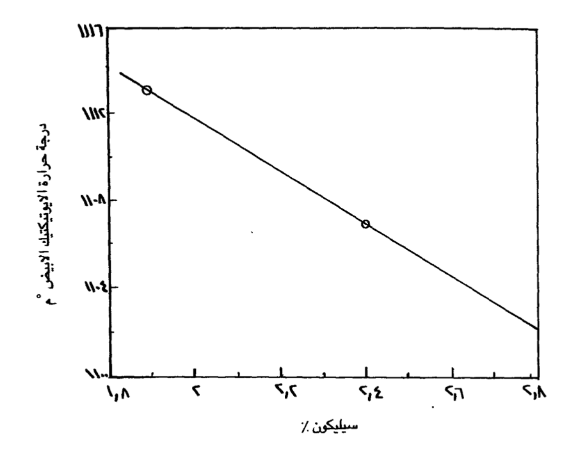
حساب نسبة الكربون فى المعدن (شكل رقم (٧٢)) .



شكل (٧١) إستعمال قوالب مطلية بآثار من التليريوم .



شكل (٧٢) جهاز حساب الكربون من بكيرا .



شكل (٧٣) العلاقة بين درجة حرارة الايوتيكتيك الابيض، والنسبة المئوية للسيليكون.

ويستخدم هذا الأسلوب الفنى للتنبؤ والتكهن بنسبة الكربون وذلك بدرجة دقة تصل إلى ± ٠,٠٥٪ ، وذلك فى مدة دقيقتين من صب عينة المعدن ؛ ليعطى التركيب المقبول تبعاً للمعادلة التالية :

$$\text{الكربون ٪} + \frac{\text{السيليكون ٪}}{٩} + \frac{\text{الفوسفور ٪}}{٣,٥} =< ٤,٠٥$$

والزهر لاتحدث له تنوية شديدة Not Heavily Nucleated عن طريق الأسلوب الفنى لعمليات الصهر أو التطعيم ، كما أنه لايتم معالجته بالمغنسيوم أو السيريوم أو السبائكية

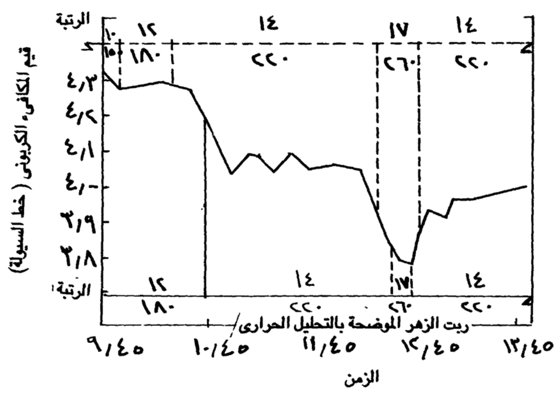
الشديدة Heavily Alloyed .

وفى أحوال كثيرة عندما تكون نسبة الفوسفور ذات قيمة مناسبة ، فإنه يمكن استخدام القيم المسجلة لكل من CEL ، وقيمة الكربون TC لتحديد نسبة السيليكون تبعاً للمعادلة :

$$\%Si = 4 (CEL - \%TC) - 2P\%$$

وتصل دقة هذه الطريقة إلى ± ١٥ . ٠٪ سيليكون وهى تعتبر معقولة جداً للغرض المطلوب .

وفى بعض الأحيان قد تتحسن درجة دقة طريقة حساب نسبة السيليكون ، وذلك عن طريق رسم علاقة بيانية Control Graph بين درجة حرارة الإيوتيكتيك الأبيض White Eutectic وبين نسبة السيليكون ، كما هو موضح فى الشكل رقم (٧٣) .

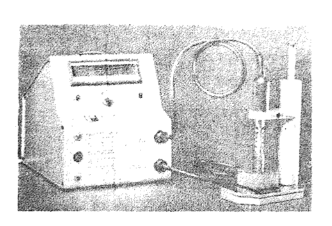


شكل (٧٤) علاقة قيمة المكافئ الكربونى برتب (Grades) الحديد الزهر الناتج.

وعملية استعمال التحليل الحرارى موضحة فى شكل (٧٤) الذى يضم نوعيات مختلفة من حديد الزهر والتى توضحها باستخدام التحليل الحرارى حيث تم مقارنتها بالنوعيات التى سبق توقعها مسبقاً فى أثناء سير عملية الشحن . وهذا يبين فائدة هذا الأسلوب الفنى فى ضمان صب النوعية الصحيحة من المعدن فى القالب .

جهاز تعيين نسبة السيليكون Silicon Determinator

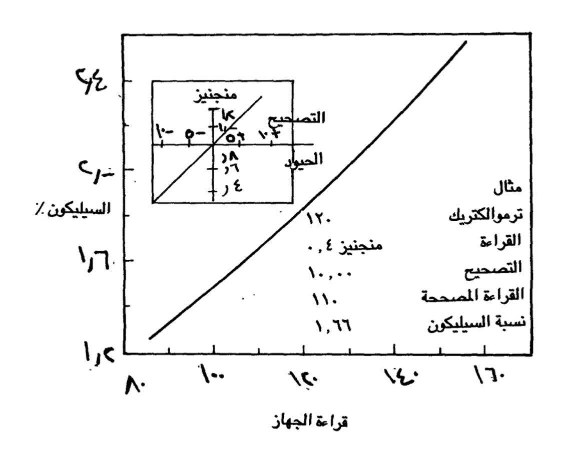
يعتبر جهاز تحديد نسبة السيليكون أحد الأجهزة المفيدة فى المسبك والشكل رقم (٧٥) يوضح صورة لهذا الجهاز . وتعتمد طريقة عمل هذا الجهاز على قيمة فرق الجهد الكهربى الناتج من دائرة كهربية مكونة من معدنين غير متماثلين عندما يتم الاحتفاظ بدرجات حرارة مختلفة بين وصلاته . وعينة الزهر إما أن تكون كتلة مصمتة Solid Block أو برادة Drillings يتم وضعها فى طبق مجوف Recessed Dish (يعتبر هو الوصلة الباردة فى الدائرة الكهربية) وتتم ملامسته مع مجس نحاسى مسخن ومحمول على ياى (يعتبر هو الوصلة الساخنة فى الدائرة الكهربية) ويتم بعد ذلك تسجيل فرق الجهد فى الدائرة ثم يتم استخدام الرسم البيانى الموضح فى شكل (٧٦) لتحديد نسبة السيليكون بالاستعانة بقراءة الجهاز . ويمكن بهذه الطريقة الحصول على نسبة السيليكون خلال دقيقة واحدة وبدقة تصل إلى ± ٠.١٪ .



شكل (٧٥) جهاز تحديد نسبة السيليكون .

ويشترط لتجهيز العينة أن تكون إما ذات مكسر أبيض تماماً أو رمادى تماماً .

أما وجود اللون الأرقط (نقط سوداء على أرضية بيضاء) فيؤدى إلى انخفاض دقة الجهاز . ويجب أن تبذل عناية أكثر عند استخدام البرادة الناتجة عن عملية الثقب Drill-ings ، لنضمن أنها لم تحترق Not Burnt فى أثناء عملية الإعداد . كما يجب أن تكون العينة كافية لكى تملأ فراغ الطبق المجوف ، كما يجب أن تكون خالية تماماً من الأتربة Dust والحبيبات الدقيقة Fines . أما العينات المتماسكة فيجب طحنها للحجم المناسب دون إحداث تسخين زائد Over Heatings .



شكل (٧٦) منحنى معايرة السيليكون

الباب العاشر

إزالة الكبريت من الزهر وإضافة مواد الكربنة

Desulphurization and Carburization of Iron

فى مجال سباكة المعادن هناك عمليتان مهمتان ، هما عملية إزالة الكبريت من الحديد الزهر ، وعملية إضافة الكربون لتركيبة الزهر ، وهناك العديد من الأسباب التى تدعو إلى الاهتمام بهاتين العمليتين ، منها :

أولاً : إن هاتين العمليتين هما اللتان تجعلان الحديد قادراً على إنتاج النوعية المطلوبة بالتركيب المطلوب مع استعمال خامات رخيصة الثمن . فمثلاً إذا تم استبدال جزء من زهر التماسيح فى الشحنة بكمية من خردة الزهر فقد تحتاج إلى إجراء عملية لإزالة الكبريت . وإذا تم استبدال جزء من زهر التماسيح بما يعادله من خردة الصلب فيصبح من الضرورى إجراء عملية كربنة ، ربما إلى جانبها عملية إزالة كبريت .

ثانياً : فى حالة إنتاج حديد زهر كروى Nodular Irons نجد أنه إذا زادت نسبة الكبريت فى الزهر قبل معالجته تزداد بالتالى كمية مواد التطعيم المستخدمة فى هذه العملية Nodularizing Alloy ، وبالتالى إذا احتوى المعدن على نسبة منخفضة من الكبريت قبل إجراء العملية ، فإن هذا سيؤدى بالتالى إلى توفير نفقات وتكلفة المواد المضافة إلى الزهر لتحسين خواصه وإلى تجنب المسبوكات المعيوبة نتيجة احتوائها على خبث أو عكارة Inclusion or Dross .

ثالثاً : قدرة حديد الزهر المعالج بهذه الطريقة على إعطاء مرونة أكبر للمسبك لإنتاج العديد من نوعيات الزهر المختلفة باستعمال نفس الخامات الأساسية المستخدمة فى شحنة فرن الدست .

العوامل المؤثرة على كفاءة عمليات المعالجة

Factors Affecting the Efficiencies of the Treatment Processes

تعتمد كفاءة عمليات الكربنة وإزالة الكبريت على العوامل التالية :

١ - نوعية العامل المستخدم Agent Used .

٢ - درجة حرارة المعدن Metal Temperature .

٣ - تركيب المعدن Metal Composition .

٤ - درجة خلط العامل المستخدم فى المعدن Degree of Mixing .

أولاً : العامل المستخدم :

إن نوعية مادة الكربنة لها تأثير مميز على كل من معدل نوبان الكربون Carbon Solution وعلى عائد الكربون Carbon Recovery ، وهذا يتضح عند صب زهر منخفض الكربون فى درجة حرارة ١٥٠٠°م مع استعمال أنواع مختلفة من مواد الكربنة

نسبة الكربون الناتج ٪ Carbon yield %	نسبة التقاط الكربون ٪ Carbon pick up %	نوع مادة الكربنة (الحجم أقل من ٦.٤ مم) Carburizer type
٧٤	٠.٣٧	جرافيت عالى النقاوة high-purity graphite
٤٨	٠.٢٤	عامل كربنة درجة ثانية Carburizer grade 2
٤٨	٠.٢٤	كسر الكترودات درجة أ electrode scrap grade A
٤٠	٠.٢٠	انثراسيت Anthracite
٣٨	٠.١٩	تراب كوك جاف Coke dust-dried
٣٨	٠.١٩	جرافيت Kish graphit
٢٤	٠.١٢	تراب فحم Cooldust

جدول رقم (١٧) أنواع مواد الكربنة .

Carburizers . وهذا موضح فى الجدول رقم (١٧) .

ويعطى الجرافيت ذات النقاوة العالية نسبة مرتفعة لعائد الكربون تصل إلى حوالى ٧٤٪ ، بينما تعطى النوعية المنخفضة من الجرافيت نسبة تصل إلى ٤٨٪ ، أما الانثراسيت. فيعطى عائدا بنسبة ٤٠٪ ، وكسر فحم الكوك يعطى ٣٨٪ ، أما تراب الفحم فيعطى ٢٤٪ فقط .

وخلاصة هذه النتائج أنه كلما ارتفعت درجة نقاء Purity مادة الكربنة كلما زادت نسبة الاستفادة منها Recovery ، وبالإضافة إلى انخفاض نسبة الاستفادة فإن استخدام مواد الكربنة ذات درجة النقاوة المنخفضة Lower Purity مثل تراب الفحم والانثراسيت وتراب الكوك ينتج عنها كميات كبيرة من الأدخنة والسحب Smoke & Fume ، كما أنه يعطى كميات زيادة من الخبث Dross على سطح المعدن المنصهر .

إذا تم استخدام أسلوب معالجة المعدن بطريقة فعالة فيمكن الحصول منه على عائد كربونى مرتفع مع استخدام مادة كربنة ذات نوعية منخفضة أعلى مما هو مبين بالجدول السابق (١٧) ، وعموماً فإن هناك نقطة إضافية يجب أن تؤخذ فى الاعتبار ، خصوصاً عند إنتاج حديد الزهر الكروى ، وهى نسبة إحتواء مادة الكربنة على عنصر الكبريت ، حيث إن معظم الكبريت الموجود فى مادة الكربنة يقوم المعدن بامتصاصها ، وهذه المسألة مهمة جداً فى أفران الصهر الكهربية ، حيث يتم إضافة كميات كبيرة من مواد الكربنة . وعلى سبيل المثال فإن مادة الكربنة التى تحتوى على كبريت بنسبة ١٪ سوف تؤدى إلى زيادة نسبة الكبريت فى المعدن بنسبة ٠٫٠١٪ لكل زيادة فى نسبة الكربون بمقدار ١٪ وعند إنتاج حديد زهر كروى فإن هذه العملية سوف تؤدى إلى زيادة تكلفة عملية الإنتاج وفى هذه الحالة فإنه يجب استعمال مادة كربنة منخفضة الكبريت .

إن عملية نوبان الكربون فى المعدن هى عملية ماصة للحرارة Endothermic Process ، حيث تنخفض درجة حرارة المعدن بمقدار ٨°م على الأقل لكل زيادة من الكربون مقدارها ٠٫١٪ . وعلى هذا إذا تم صب حديد زهر يحتوى على كربون بنسبة ٣٪ من فرن دست حامضى وتم إجراء عملية معالجة خارج الفرن External Treatment لرفع نسبة الكربون إلى ٣٫٨٪ فإن درجة حرارة المعدن ستنخفض بمقدار ٦٥°م بالإضافة إلى الفقد

الطبيعى نتيجة الاشعاع Normal Radiation Losses .

والعامل Agent الأكثر استعمالاً فى عملية إزالة الكبريت من الحديد الزهر المنصهر هو كربيد الكالسيوم . أما كربونات الصوديوم والمعروفة باسم رماد الصودا (الصودا آش Soda Ash) والجير المحروق فيتم استخدامهما فى حدود ضيقة . وعموماً فليس هناك قواعد محددة يمكن اتخاذها عند اختيار عامل إزالة الكبريت ؛ حيث إن هذا يعتمد على عوامل عديدة . ومواد إزالة الكبريت تعتبر هى أهم عنصر لإجراء العملية وأهم النقاط التى يتم أخذها فى الاعتبار عند اختيار مواد إزالة الكبريت موضحة فى جدول (١٨) .

عوامل الاختيار	كربونات الصوديوم	كربيد الكالسيوم
الخبث المتكون	سيولة عالية - صعوبة كبيرة فى الإزالة	يتجمع ويمكن إزالته بسهوله
الأدخنة	أدخنة كثيرة مع ضرورة سحبها	لايسبب مشكلة
الفقد فى السيليكون	يصل إلى ٣. ٠٪	صغير جداً
الفقد فى درجة الحرارة	كبير	بسيط حيث إن التفاعل طارد للحرارة
نوع الحراريات	تفضل القاعدية	قليل الأهمية
ظروف التخزين	يجب أن يحفظ جافا	يجب أن يخضع لترتيبات وقواعد موضوعة

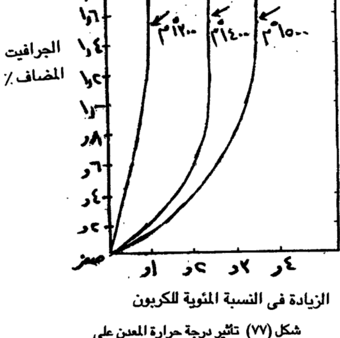
جدول رقم (١٨) المقارنة بين خواص كربونات الصوديوم وكربيد الكالسيوم .

وبعيداً عن العديد من عيوب كربونات الصوديوم التجارية Soda Ash ، فإنه يمكن اعتباره العامل الوحيد الذى يمكنه إجراء عملية إزالة الكبريت بدرجة كبيرة وعظيمة وذلك باستعمال الطريقة البسيطة لصب المعدن فى البوتقة ؛ بينما استخدام الجير وكربيد الكالسيوم لايكون فعالا إذا لم يحدث تقليب للمعدن بدرجة شديدة High Degree of Metal Turbulence والنتائج المثالية تعطى خفضاً لنسبة الكبريت من ١ . ٠٪ إلى ٠٤ . ٠٪ عند إضافة كربونات الصوديوم بنسبة ١٪ . ولهذا السبب فإن كربونات الصوديوم تكون مفيدة جداً فى حالة المصانع الصغيرة التى تعمل فى إنتاج الزهر الكروى عن طريق صهر المعدن فى أفران الدست الحامضية ، والتى بها نظام غير محكم لإجراء عملية المعالجة لإزالة الكبريت بكفاءة من المعدن .

وعند إنشاء نظام فعال لإجراء عمليات لمعالجة المعدن . وفى حالة ضرورة إجراء عمليات كربنة وإزالة للكبريت فى وقت واحد ، فإنه يصبح من الممكن استعمال مواد كربنة رخيصة الثمن وتحتوى على كبريت بنسبة أعلى من تلك التى تستخدم فى عمليات الكربنة فى الأفران الكهربية ، ويقوم مزيل الكبريت بمنع الكبريت الموجود فى مادة الكربنة من الذوبان فى المعدن .

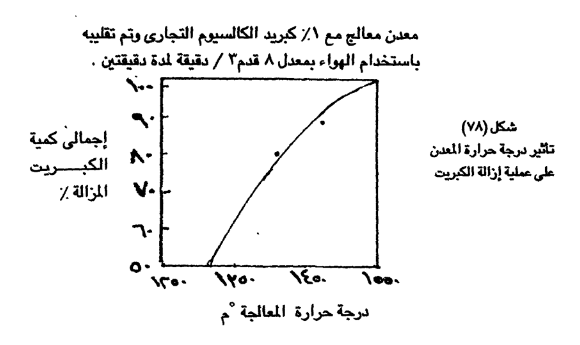
ثانياً : درجة حرارة المعدن Metal Temperature

إن تأثير درجة حرارة المعدن على درجة الاستفادة من عملية الكربنة واضح تماماً عند صب المعدن فوق جرافيت ثم وضعه فى بوتقة Ladle . والشكل رقم (٧٧) يوضح أفضل تأثير لعملية الكربنة يتم الحصول عليها مع أقصى درجة حرارة للمعدن . وعند إضافة الجرافيت بنسبة ١٪ وجد أن درجة تحصيل الكربون Recovery عندما تكون درجة حرارة المعدن ١٥٠٠°م تصل إلى أربعة أضعاف ماتم الحصول عليه عند درجة حرارة ١٣٠٠°م .



شكل (٧٧) تأثير درجة حرارة المعدن على درجة اكتساب الكربون.

وبالمثل فإن عملية إزالة الكبريت باستخدام كربيد الكالسيوم تتحسن أيضاً عند إجرائها فى درجة حرارة معدن مرتفعة . والشكل رقم (٧٨) يوضح كميات الكبريت التى تم إزالتها عندما تم معالجة المعدن باستخدام كربيد الكالسيوم التجارى بنسبة ١٪ مع استخدام هواء بمعدل ٢٣ , ٠ متر^3/دقيقة وذلك لمدة دقيقة واحدة بهدف إحداث اضطراب وتقليب للمعدن Agitation ، وذلك من خلال بوتقة ذات سدادة مسامية Porous-Plug Ladle . وقد لوحظ أن كفاءة عملية إزالة الكبريت



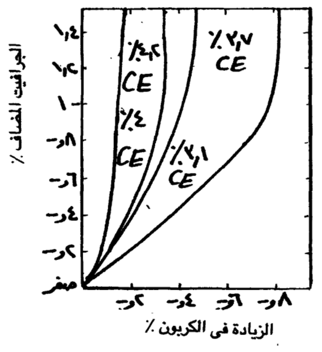
شكل (٧٨)
تأثير درجة حرارة المعدن
على عملية إزالة الكبريت

التى أجريت فى درجة حرارة ١٣٢٠°م تمثل نصف كفاءتها عند إجرائها فى درجة حرارة ١٥٥٠°م . أما كربونات الصوديوم فهى على أى حال لاتعتمد على درجة حرارة المعدن ، بينما يحدث انخفاض طفيف لكفائتها عندما تكون درجة حرارة المعدن منخفضة .

ثالثاً : تركيب المعدن Metal Composition

إن كفاءة عملية الكربنة تعتمد على قيمة المكافئ الكربونى Carbon Equivalent للحديد الزهر المنصهر . والشكل رقم (٧٩) يوضح النتائج التى تم الحصول عليها عند صب حديد زهر يحتوى على قيم مختلفة للمكافئ الكربونى مع إضافة كميات مختلفة من الجرافيت وذلك عند درجة ١٥٠٠°م . وهذا يبين أن نوبان الكربون فى حديد الزهر يحدث له تأخير فى حالة أنواع الحديد الزهر التى لهامكافئ كربونى ذات قيمة مرتفعة . وعند إضافة جرافيت بنسبة ١٪ إلى زهر ذات مكافئ كربونى ٤.٢٪ فإن كفاءة عملية الكربنة تصل لحوالى ١٥٪ بينما فى حالة الزهر ذات المكافئ الكربونى ٣.١٪ تصل كفاءة العملية إلى ٨٠٪ .

وبالمثل فإن كفاءة عملية إزالة الكبريت تعتمد على مستوى الكبريت قبل إجراء العملية وعلى نسبة الكبريت النهائية المطلوبة . وكلما زادت نسبة الكبريت فى الحديد كلما زادت سهولة العملية .

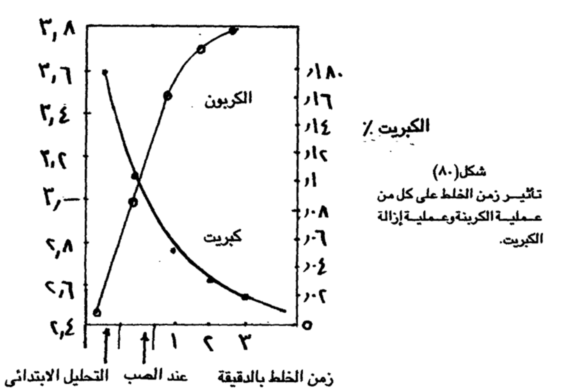


شكل(٧٩)
تأثير تركيب المعدن على درجة اكتساب الكربون

رابعاً : درجة الخلط Degree of Mixing

تحدث بعض الصعوبة القليلة عموماً عند محاولة إضافة بعض السبائك إلى الحديد الزهر المنصهر ، وذلك بهدف تعديل التركيب الكيميائى النهائى Modification ، حيث إن هذه المواد على وجه العموم عندما تكون فى الصورة المعدنية ، فإنها تنوب بسرعة فى المحلول . وليس هذا مايحدث فى عمليات الكربنة أو إزالة الكبريت حيث إن كلاً من مواد الكربنة ومزيلات الكبريت كلها مواد خفيفة الوزن Light ومواد غير معدنية Non Metallic وإذا تم إضافتها إلى بوتقة بها معدن منصهر فإن هذه المواد سوف تطفو على سطح المعدن Metal Surface ، وبالتالى سيكون تفاعلها مع المعدن ضئيلاً جداً .

إن أهمية تأثير عملية الخلط Mixing Action موضحة فى الشكل رقم (٨٠) ، حيث يوضح النتائج التى تم الحصول عليها عند صب المعدن مع إضافة الجرافيت وكربونات الصوديوم والمتبوعة بعد ذلك بعملية خلط المعدن بالمواد المضافة باستخدام الهواء المضغوط الذى يتم دفعه من خلال ماسورة جرافيت غاطسة Submerged Graphit Lance ، وتؤدى عملية صب المعدن إلى حدوث عمليات الكربنة وإزالة الكبريت بدرجة عظيمة ؛ ولكن استخدام أسلوب الخلط فقط لمحتويات البوتقة ولمدة ثلاث دقائق مع حدوث تقليب معقول Induced



شكل(٨٠)
تأثيـر زمن الخلط على كل من عـمليـة الكربنة وعـمليـة إزالة الكبريت.

Turbulance يؤدى إلى حدوث زيادة هامة جداً لعمليات الكربنة وإزالة الكبريت .

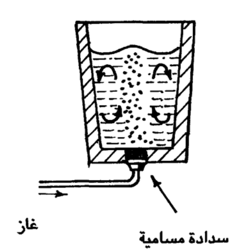
طرق معالجة المعدن Metal Treatment Processes

ظهر فى الفترة الأخيرة عدداً من الطرق التى تجعل السبَّاك قادراً على إجراء عمليات الكربنة وإزالة الكبريت للحديد الزهر والوصول به إلى المستويات المطلوبة وبطريقة ملائمة . وبدون استثناء فإن هذه الطرق كلها تشتمل على بعض الوسائل الصناعية لخلق اضطراب (تقليب) داخل المعدن بهدف إحداث تفاعل واتصال Contact بين مواد التفاعل وبين المعدن ، وبالتالى يزيد كل من معدلات التفاعل Reaction Rates وكفاءة التفاعل Effi- ciency .

البوتقة ذات السدادة المسامية Porous-Plug Ladle

لقد قدمت البوتقة ذات السدادة المسامية طريقة فنية رخيصة التكاليف لإحداث إضطراب للمعدن Agitation ومواد الكربنة ومزيلات الكبريت كما هو موضح بالشكل رقم (٨١) . إن عملية إدخال الغاز من خلال السدادة المسامية الموجودة فى قاع البوتقة تؤدى

إلى خلق Creat تقليب (اضطراب - هيجان) Stirring عنيف . وإستخدام هذه الطريقة يهدف إلى تحسين تأثير التفاعل الميتالورجى للعملية . وفى البداية تم استخدام هذه الطريقة على نطاق ضيق ومحدود بسبب رداءة تصميم السدادة المستخدمة والتى كان يتم تثبتها بشدة فى قاع البوتقة وكانت تحتاج إلى وقت طويل وعدد كبير من العمال لاستبدالها بسدادة أخرى.



شكل (٨١) طريقة تقليب المعدن باستخدام السدادة المسامية.

وعلى أية حال فمنذ عدة سنوات تم استحداث تصميم جديد للسدادة مما يجعل إمكانية خلعها ممكن ببساطة وبسرعة .

شكل (٨٢) شكل مقطعى للسدادة المسامية مجمعة مع تجهيزة التركيب والفك.

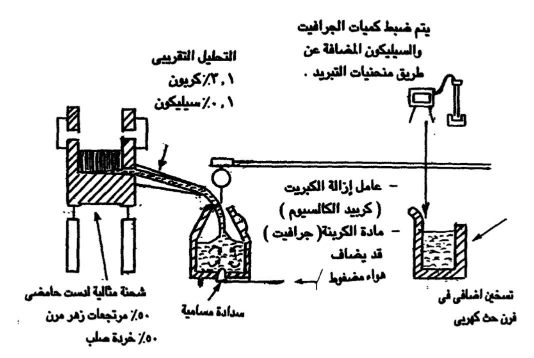
واستبدالها بواحدة أخرى جديدة إمكانية سهلة . والشكل رقم (٨٢) يقدم التصميم الجديد لهذه السدادة الحديثة ، والتى انتشر استعمالها فى السابك بهدف إجراء عمليات الكربنة وإزالة الكبريت من الحديد الزهر . وهذا التصميم الجديد يسمح بخلع السدادة المركبة المتآكلة من البوتقة الساخنة مع استبدالها بواحدة جديدة وذلك فى خلال أربع دقائق فقط .

إن توالى مراحل العملية باستخدام السدادة المسامية يعتبر طريقة بسيطة ، حيث يتم ملء البوتقة بالمعدن المنصهر لحوالى ثلثى سعتها ، ويفضل أن تكون البوتقة مزودة بغطاء مبطن بالحراريات Cover وذلك لتقليل انسكاب المعدن Spillage والفقد فى درجة الحرارة . بالنسبة لمواد الكربنة ومزيلات الكبريت يتم إضافتها قبل أو فى اثناء صب المعدن فى البوتقة . ويتم دفع هواء أو نتروچين مضغوط بمعدل تدفق حوالى ١٤ , ٠ - ٢٣ , ٠ متر مكعب / دقيقة (حوالى ٥ - ٨ قدم مكعب / دقيقة) ليمر خلال السدادة . ويتراوح زمن المعالجة بين دقيقتين وأربع دقائق فى المعتاد ، وذلك لاستكمال التفاعل المطلوب . والشكل رقم (٨٣) يبين إحدى البواتق من هذا النوع فى أثناء إجراء العملية ؛ حيث تم استخدام رماد الصودا Soda Ash فى هذه الحالة لإزالة الكبريت من المعدن ، بالإضافة إلى تصاعد مستمر لكميات كبيرة من الأدخنة البيضاء White Fume وإذا تم استخدام كربيد الكالسيوم فإن كمية الأدخنة الناتجة ستكون قليلة جداً .



شكل (٨٣) عملية إزالة الكبريت باستخدام السدادة المسامية مع رماد الصودا .

وعند إجراء معالجة للمعدن المنصهر الناتج من أفران الدست فى بوتقة ذات سدادة مسامية ، فإنه من المعتاد أن يتم صب المعدن من الفرن بالطريقة المستمرة Continuously Tapping فوق مواد الكربنة ومزيل الكبريت الموضوعة فى البوتقة ، على أن تبدأ عملية النفخ Blowing عندما تصل كمية المعدن إلى ثلث سعة البوتقة ، ولهذا فإن عملية المعالجة غالباً ماتكتمل فى نفس الوقت الذى تكون البوتقة قد امتلأت فيه . وهذه الطريقة تقلل زمن التوقف



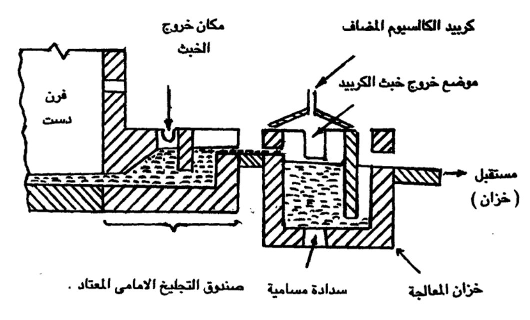
شكل (٨٤) الطريقة الثنائية لانتاج حديد الزهر المرن.

Standing Time وبالتالى تقلل الفقد فى درجة الحرارة .

ويتم استخدام السدادة المسامية لإجراء عملية المعالجة لعدة مرات تصل إلى حوالى عشر مرات قبل أن يتم تغييرها واستبدالها بأخرى جديدة . كما أن استخدام غاز النتروجين بدلاً من الهواء المضغوط يؤدى إلى إطالة عمر السدادة المستعملة .

وعند استخدام البوتقة ذات السدادة المسامية يصبح من الممكن إجراء عمليات الكربنة فى الحدود المطلوبة وبكفاءة تصل إلى ٨٠ - ٩٠٪ أما نسبة الكبريت فيمكن خفضها من ١,٠٪ إلى ٠,٠١٪ أو أقل من ذلك وذلك عن طريق إضافة كربيد الكالسيوم بنسبة ١٪ ويعتبر من الشاذ إجراء عمليات معالجة لكمية من المعدن تزيد عن عشرة أطنان على مرحلة واحدة باستخدام السدادة المنفذة . ولكنه نظراً لقصر زمن المعالجة فإنه يكون من المعتاد ألا نضطر إلى إجراء عمليات معالجة لكميات كبيرة من المعدن . والشكل رقم (٨٤) يوضح نظام مثالى ثنائى Duplexing حيث يتم استعمال بوتقة ذات سدادة مسامية (والنظام الثنائى يتضمن صهر المعدن فى فرن دست وإعادة تسخينه فى فرن حث كهربائى) .

وفى الوقت الحاضر اتسع استعمال السدادة المسامية مع صب المعدن بالطريقة



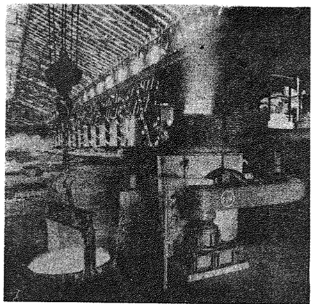
شكل (٨٥) تجهيزة للمعالجة المستمرة باستخدام السدادة المسامية.

المستمرة وطريقة المعالجة المستمرة Continuous Treatment بدلاً من عملية المعالجة بالبوتقة Ladle Treatment والموضحة فى شكل (٨٥) ، والتى يتم اجراؤها مقترنة مع تشغيل أفران الدست الحامضية . ويعتمد العديد من المسابك على هذا النوع من الأنظمة بهدف خفض مستويات الكبريت عند إنتاج حديد زهر رمادى Grey Iron ؛ وقد اتضح أن هذا النظام يمكن أن يستخدم أيضاً فى إنتاج حديد زهر ذات نسبة منخفضة من الكبريت يلائم إنتاج مسبوكات من حديد الزهر الكروى Nodular .

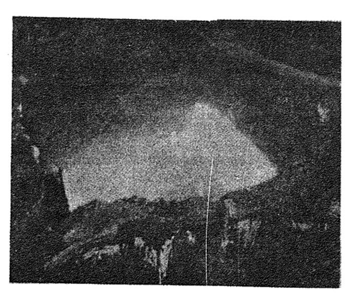
البوتقة الهزازة Shaking Ladle

تعتبر عملية إجراء الكربنة وإزالة الكبريت باستخدام البوتقة الهزازة من العمليات الهامة والتى ظهرت منذ أكثر من ثلاثين عاما فى السويد . ويتكون الجهاز أساساً من بوتقة ذات تصميم خاص مُركّبة على هيكل وموضوعة بحيث يمكن أن تعطى حركة دورانية Rotary Motion . والشكل رقم (٨٦) يوضح التركيب المثالى لهذا النوع . ويمكن إعطاء البوتقة ومحتوياتها حركة تشبه إلى حد بعيد حركة كوب من الشاى عند تقليب كمية من السكر

الموجـود فى قـاع الكوب . ويتم تحـريك (تدوير) البـوتقـة الهـزازة بسـرعـة دوران مـعـينة حـيث تكون الحـركـة بطريقـة لا مركزية Eccentric ، ويتم الحصـول على الحركة الموجية الصـحيحة فى البوتقة Correct Wave Motion عن طـريق التـحكم فى سـرعـة الدوران Speed of Rotation والتحكم فى درجة اللامركزية Degree of Eccentricity . والشـكل رقم (٨٧) يوضـح شكل الحـركـة الموجـيـة فى أثناء دوران البوتقة الهزازة .

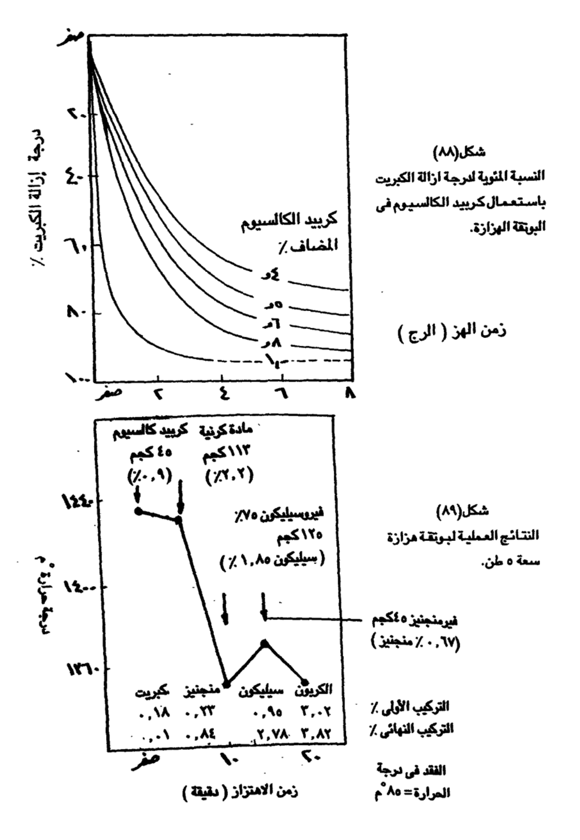


شكل (٨٦) تركيب البوتقة الهزازة .



شكل (٨٧) الحركة الموجية فى البوتقة الهزازة .

وباستعمال البوتقة الهزازة يمكننا الحصول على درجة عالية من درجات إزالة الكبريت . والشكل رقم (٨٨) يوضح أنه يجب استـخدام كربيد بنسـبة حوالى ١٪ لتـخفـيض نسـبة الكبريت إلى مستوى منخفض يسمح بإنتاج الزهر الكروى Nodular . ويتم تحريك البوتقة لفترة تتراوح بين ٤-٦ دقائق للحصول على أفضل النتائج . وبجانب عملية إزالة الكبريت



شكل(٨٨)
النسبة المئوية لدرجة ازالة الكبريت باستعمال كربيد الكالسيوم فى البوتقة الهزازة.

شكل(٨٩)
النتائج العملية لبوتقة هزازة سعة ٥ طن.

فهناك بعض الإضافات الأخرى التى تضاف إلى البوتقة بهدف ضبط Adjust تركيب المعدن والشكل رقم (٨٩) يوضح نتائج إجراء إحدى العمليات فى بوتقة من النوع الهزاز سعتها خمسة طن .

وعلى الرغم من أنه يمكن الحصول على درجات عالية من عمليات الكربنة وإزالة الكبريت تصلح لإنتاج الزهر الكروى عن طريق كل من البوتقة ذات السدادة المسامية والبوتقة الهزازة ، إلا أن البوتقة الهزازة تتصف بارتفاع تكاليف استثمارات معداتها ولذلك فإن المسابك الكبيرة فقط هى التى تقوم باستعمالها فى إنتاج الحديد الزهر الكروى وقوالب الكتل الكبيرة Ingots Moulds وأنواع حديد الزهر المحسن Refined Irons . أما البوتقة ذات السدادة المسامية فإن تكلفتها منخفضة ولذلك تفضلها المسابك الصغيرة والمتوسطة الحجم .

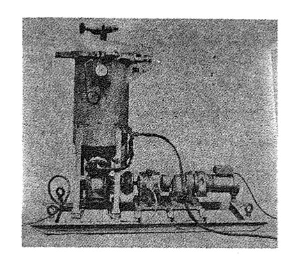
عمليات معالجة أخرى Other Treatment Processes

تعتمد معظم عمليات الكربنة وإزالة الكبريت على استخدام البوتقة ذات السدادة المسامية أو البوتقة الهزازة نظراً لانتشارهما على مدى واسع وعلى أية حال فهناك طرق أخرى يتم استخدامها إما لإجراء عمليات الكربنة أو لإجراء عمليات إزالة الكبريت من الحديد الزهر ؛ لكن على وجه العموم هى طرق منتشرة على نطاق ضيق ومحدود .

وكما سبق القول يمكن صب المعدن مباشرة فوق مادة المعالجة Reagent الموضوعة فى قاع البوتقة ؛ ويمكن استخدام رماد الصودا فى الحصول على درجة مرتفعة من درجات إزالة الكبريت . ويمكن تحسين تأثير عملية صب المعدن فوق مواد المعالجة وذلك بإجراء عملية صب مزدوجة Double Ladling باستخدام بوتقتين حيث يتم تفريغ محتويات إحداهما فى الأخرى بهدف تحسين عملية التقليب Improve Agitation وزيادة كفاءة التفاعل وتعتبر طريقة استخدام بوتقتين طريقة محدودة بسبب حدوث فقد كبير جداً فى درجة حرارة المعدن وبسبب حاجتها للمجهود البدنى مع ضياع الوقت بالإضافة إلى اختلاف النتائج التى يتم الحصول عليها فى كل مرة .

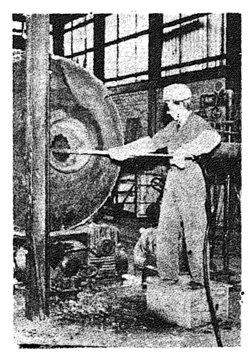
ويتم استخدام طريقة أخرى هى طريقة الحقن Injection Technique . ويتم تطبيقها فى حالة الصب المستمر Continuous أو الصب المتقطع Batch بهدف إجراء

عمليات الكربنة وإزالة الكبريت من المعدن المنصـــهـــر . وفى هذه الطريقـــة يتم استخدام جهاز لتوزيع البودرة بغرض استخدامه كعداد Meter لحساب كميات مواد الكربنة ومزيلات الكبريت والتى يتم ضـخّهـا عن طريق الهـواء المضــغـوط Conveyed Pneumatically من خلال خرطوم مـرن Flexible Hose والـذى يصل إلى مـاسـورة الحـقن Injection Lance المغمورة فى المعدن Immersed in Metal .



شكل (٩٠) جهاز توزيع البودرة .

والشكل رقم (٩٠) يوضح شكلاً لأحد أجهزة التوزيع المستخدمة لهذا الغرض . وعلى الرغم من استخدام هذه الطريقة فى إناء للمعالجة ذات تصميم خاص Vessel وموضوع فى نهاية حوض المعـدن فى فـرن الدست The End of the Cupola Launder ، إلا أن هذه الطريقـة تعتـبـر أكثـر تناسـبـاً لإجـراء عـمليـات الكربنة بطريقـة مـتـقطعـة Batch Carburization للحـديد الزهر داخل أفـران حـفظ الحـرارة Holding Furnaces مـثـل أفــران الحث الكهــربى أو الأفــران الدوارة Rotary Furnaces وأفران القوس الكهربى المباشر Arc Furnaces .

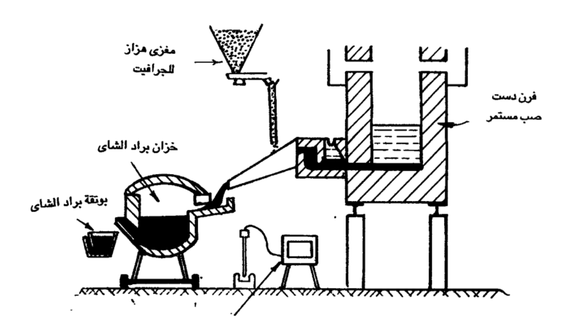


شكل (٩١) عملية الكربنة فى الفرن الدوار عن طرق حقن الجرافيت .

والشـكل رقـم (٩١) يوضح طـريقـــة استخدام أسلوب حقن الجرافيت فى الأفران الدوارة . وعلى وجه العموم فإن كفاءة عملية الكربنة تكون فـى حـــدود ٦٠٪ فى الأفــران

الدوارة وفى حدود ٩٠٪ فى أفران الحث الكهربى ، بينما تكون حوالى ٧٠٪ فى أفران القوس المباشر .

وفى عمليات الحقن لايكون هناك مفر من قذف مواد المعالجة الخاصة بالكربنة وإزالة الكبريت فوق سطح المعدن المنصهر ويقوم المعدن بالاختلاط مع هذه الإضافات عن طريق نفخ غاز فى المعدن من خلال ماسورة مغمورة . أما المعدن المنصهر عن طريق أفران الدست فيمكن كربنته بمقدار ١ . ٠ – ٢ . ٠٪ ، وذلك بإضافة الجرافيت إلى مجرى الصب فى فرن الدست Cupola Launder ، كما هو مبين فى الشكل رقم (٩٢) ، وفى أحد أفران الدست تم إجراء عملية بهذه الطريقة بكفاءة تصل إلى ٧٠٪ . وعلى أية حال فقبل اختيار أى طريقة من طرق المعالجة فيجب الأخذ فى الاعتبار التأثيرات الممكن حدوثها فى خواص المعدن ، حيث إن عملية الكربنة ستؤدى إلى زيادة درجة حدوث التنويه Degree of Nucleation لحديد الزهر ، وهذا سيدفع المسبوكات إلى الميل الأكثر More Prone نحو ظهور عيوب

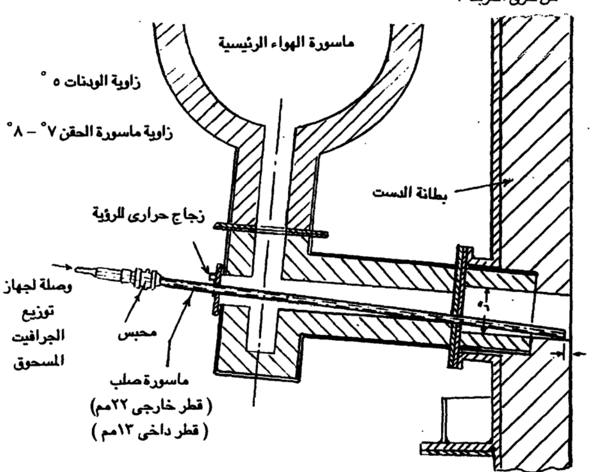


جهاز رسم منحنيات التبريد للتحديد السريع للمكافىء الكربونى لضبط معدل تغذية الجرافيت .

شكل (٩٢) طريقة الكربنة عن طريق إضافة الجرافيت عند مجرى صب المعدن.

ناتجة عن الانكماش Shrinkage Defects . إذا أريد تقليل تأثير مواد الكربنة على عملية التنوية فيمكن اختيار طريقة حقن الجرافيت عن طريق ودنات الهواء بفرن الدست Cupola . Tuyeres

والشكل رقم (٩٣) يبين رسماً توضيحياً لهذا النظام ، وكفاءة استخدام الجرافيت بهذه الطريقة الأخيرة تصل إلى ٢٠- ٣٠٪ ، ولهذا السبب فإن هذه الطريقة غير اقتصادية كمثيلاتها الأخرى . وعلى أية حال فإن ميزة هذه الطريقة ان التفاعل الماص للحرارة Endo-Thermic Reaction الناتج عن ذوبان الكربون Carbon Solution والذى عادة مايؤدى إلى فقد المعدن لدرجة حرارته عند إجراء عملية الكربنة يتم تعويضه عن هذه الحرارة من داخل فرن الدست ، ولهذا لايحدث انخفاض فى درجة حرارة المعدن الذى يستخدم هذه الطريقة من طرق الكربنة .



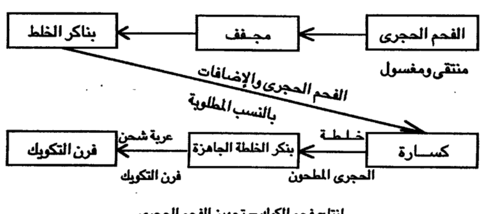
شكل (٩٣) تجهيزة ماسورة حقن الجرافيت فى الودنات.

الباب الحادى عشر
فحم الكوك ومساعدات الصهر
Foundry Coke and Fluxes

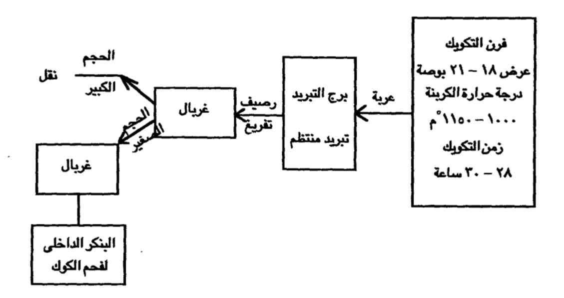
تستهلك الصناعة مايزيد على ٦٠٠٠٠٠ طن سنوياً من فحم الكوك ، وقد اعتاد السباكين الشكوى المستمرة من رداءة نوعية الفحم من وقت لآخر (ومعظم هذه الشكوى لاتعتمد على دليل مدعم) ، وعلى وجه العموم تكون معلومات العاملين فى مجال السباكة قليلة عن كيفية صناعة الكوك وماهى أهم خواصه . وفى هذا الباب سيتم الحديث عن صناعة الكوك وكيف يتم تحديد خواصه وماهى أهم خواص الكوك وماهى مواصفاته القياسية .

كيف تتم صناعة كوك المسابك ؟ How is Foundry Coke Mode ?

الأشكال أرقام (٩٤ ، ٩٥) عبارة عن رسوم تخطيطية لوحدة فرن التكويك . يتم غسل Washing أنواع الفحم الحجرى المنتقاة بهدف إزالة الشوائب ، ثم يتم تجفيفها وتخزينها فى بناكر الخلط ، ثم يتم تغذية الكسارة بعد ذلك بالنسبة المضبوطة لكل نوع من أنواع الفحم الحجرى والإضافات (مثل الفحم الرجوع Breeze) وذلك لعمل الخلطة المطلوبة Blend ويعد طحن الخلطة فى الكسارة Crusher يتم تخزين الفحم المطحون Powdered فى أحد البناكر service bunker ، ويتم نقل الخلطة إلى فرن التكويك coke oven عن طريق عربة شحن الفرن Charger Car .



إنتاج فحم الكوك – تجهيز الفحم الحجرى
شكل رقم (٩٤)



إنتاج فحم الكوك - إسلوب مناولة فحم الكوك
شكل رقم (٩٥)

وفرن التكويك ذات شكل مستطيل يصل عرضه إلى ٤٦ - ٥٣ سم ، ويتم تسخينه من الخارج Externally Heated ، وبعد الشحن تبدأ الحرارة فى التدفق من حوائط الفرن فى اتجاه منتصف الفرن . وبتقدم عملية التكويك Carbonization تصل درجة حرارة منتصف الفرن لنفس درجة حرارة حوائط الفرن ، ويتم الانتظار عند درجة الحرارة هذه (١٠٠٠ - ١١٥٠°م) لمدة تتراوح بين ساعتين إلى ثلاث ساعات يتم بعدها تفريغ الفرن من شحنته . والوقت المعتاد لعملية التكويك يصل إلى ٢٨ - ٣٠ ساعة . وهناك بعض الاستثناءات حيث قد يصل زمن التكويك إلى حوالى ٣٩ - ٤٠ ساعة .

وفى اثناء عملية التكويك يمر الغاز الناتج عنها إلى قسم المنتجات الثانوية By-product Plant . وذلك لإنتاج القطران Tar والبنزول والكيماويات .

ويتم تفريغ الكوك الناتج فى عربة مخصوصة Coke Car ، حيث يتم التبريد السريع بالمياه (طش) Quenching بطريقة دقيقة ومحكومة وذلك قبل تفريغه على الرصيف Wharf ، ويتم بعدها تصنيف الأحجام الصغيرة (عادة ماتكون أقل من ٦٤مم أو ٧٦مم)

Undersize عن طريق غربلته إلى عدة أحجام مختلفة ، وذلك لخدمة المستهلكين . أما الأحجام الكبيرة من الكوك Oversize فتمر على سير belt ، حيث يجرى عليها تفتيش نظرى (بالعين المجردة) Inspection Visual لاستبعاد الأجزاء غير المرغوب فيها Black Ends ، ويتم بعدها تحميل الكوك باللوادر على عربات نقل وعربات سكك حديدية Rail Wagons لنقلها إلى المسابك المختلفة .

أنواع الفحم الحجرى المخصص لإنتاج كوك المسابك وموقع أفران التكويك

Coals for Foundry Coke Production and Location of Coke Ovens

يجب استعمال نوعيات منتقاة من الفحم الحجرى مخصوصة لإنتاج فحم الكوك . ويتم تصنيف أنواع الفحم الحجرى باستخدام أعداد دليلية (تدل على رتبة الفحم) Coal Rank Code Numbers وهى أعداد شفرية رمزية . وتقسم أنواع الفحم إلى الفحم الحجرى الأصلى للتفحيم Prime Coking Coals أو أنواع الفحم الحجرى (التى تحتوى على مواد متطايرة بنسبة متوسطة) الضرورية لإنتاج فحم الكوك الخاص بالمسابك ، حيث تحتوى على مواد متطايرة Volatile Matter بنسبة تتراوح بين ١٩.٦٪ وبين ٣٢٪ والمعروفة بالفحم الحجرى الذى درجته (٣٠١) 301 Rank Coals . وفحم كوك المسابك يجب أن يحتوى على نسبة منخفضة من الكبريت Low Sulpher Content .

والمناجم الرئيسية لهذه النوعية من الفحم الموجودة فى بريطانيا بدأت تنضب ، وأصبحت أصعب فى استغلالها ، وبالتالى فإنه فى القريب العاجل ، وعلى الرغم من استمرار إنتاج الكوك لسد حاجة المصانع والأسواق فإنه سيتم إنتاج الكوك عن طريق مزج (خلط) عدة أنواع من الفحم الحجرى مع الفحم (٣٠١) . ويمكن القيام بهذه العملية وذلك بتطوير أعمال التنقيب والبحوث العلمية وتطوير العمل . وتجرى فى الوقت الحاضر العديد من الأبحاث لدراسة مدى إمكانية إنتاج فحم الكوك كمنتج ثانوى نتيجة عمليات التقطير Distilation .

اختبارات تحديد جودة فحم الكوك

Tests to Determine Coke Quality

تجرى اختبارات تحديد جودة فحم الكوك بهدف تحديد مدى الاختلاف بينه وبين المواصفات القياسية ولمعرفة مدى ملاءمته للاستخدام فى أفران الدست لصهر المعادن .

أخذ العينات Sampling

بدايةً يجب التأكيد على أنه لايمكن الفصل فى أى نزاع Dispute بخصوص جودة فحم الكوك إلا فى وجود عينة ممثلة لهذا الفحم Representative Sample .

والمواصفات البريطانية بخصوص أخذ عينات الفحم الحجرى وفحم الكوك تصف عدة طرق لأخذ العينات للحصول على عينة ممثلة . ومعظم هذه الطرق غير مناسبة عند تنفيذها على الشحنة الواحدة من كوك المسابك ، حيث إنها تعتبر عملية شاقة ومكلفة . وعند حاجة المسبك لأخذ عينة من شحنة يفترض أن هذه الشحنة معزولة عن باقى الشحنات ويتم أخذ عينات من أماكن مختلفة وعلى فترات زمنية متتالية ، ويتم تجميعها وحفظها لتكوين عينة مجمعة . ولتجنب حدوث تكسير أو انخفاض لدرجة جودة الكوك فى أثناء عمليات النقل المتتالى ، يجب تخزين العينة فى صندوق مخصوص .

إختبار تحديد الحجم Size Analyses

سوف يتضح فيما بعد أن أهم خاصية لفحم كوك المسابك هى خاصية الحجم ، ولهذا فإنه من الضرورى معرفة طريقة تحديد حجم الكوك باستعمال عينة ممثلة وهى تجرى على النحو التالى :

١- يتم تجفيف العينة حتى تصل الرطوبة إلى نسبة أقل من ٨٪ ثم يتم وزن العينة (نادراً مايتم إجراء هذه الخطوة) .

٢- يتم إجراء الاختبار باستخدام ألواح قياسية من الصلب ذات شكل مربع ومثقوبة أو باستخدام غرابيل ، حيث يقوم كل غربال بالسماح بمرور قطع الكوك ذات الأحجام الأقل من مقاس الغربال بينما يحتجز القطع الأكبر منه .

٣- يتم القيام بوزن كميات الكوك التى يحتجزها كل غربال على حدة .

جدول (١٩) التحليل الحجمى لكوك المسابك

الحجم	النسبة ٪	نسبة المتبقى فى المنخل والمتجمع ٪	
+٧″	٣.٧	٣.٧	A
+٦″	١٦.٧	٢٠.٤	B
+٥″	١٢.٥	٣٢.٩	C
+٤″	٢٣.٥	٥٦.٤	D
+٣.٥″	١٥.٢	٧١.٦	E
+٣″	١٢.٨	٨٤.٤	F
+٢.٥″	٩.٧	٩٤.١	G
+٢″	٤.٠	٩٨.١	H
+١.٥″	٠.٧	٩٨.٨	I
+١″	٠.٢	٩٩.٠	J
+٠.٥″	٠.٣	٩٩.٣	K

متوسط الحجم (بالبوصة) = ٤.٤٧

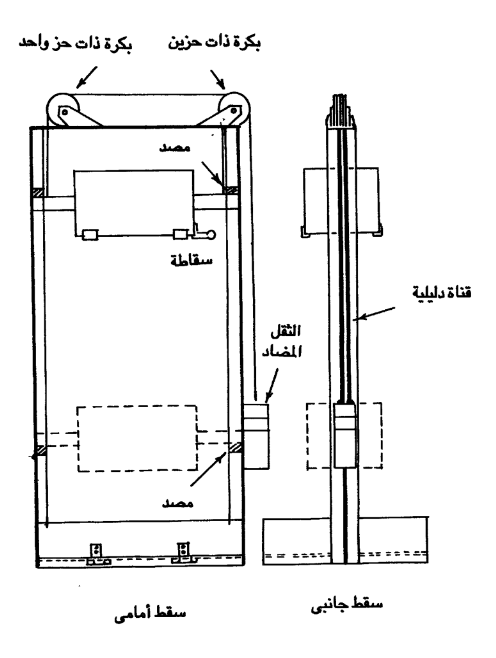
$$\text{متوسط الحجم} = \frac{٢٥ + (K+J+I+H+G+F+E)\frac{١}{٢} + D\frac{٣}{٤} + C+B+A}{١٠٠}$$

٤- يتم تدوين النتائج فى جدول خاص كما هو موضح فى جدول رقم (١٩) .

ومن هذه النتائج يمكن الحصول على متوسط حجم عينة الكوك وذلك باستعمال صيغة حسابية Formula يتم استخدامها فى صناعة الكوك . وفى المثال السابق تبين أن متوسط الحجم Mean Size يصل إلى ١١٤مم (٤.٤٧ بوصة) .

اختبارات التحليل الكيميائى Testing Analytical

يشتمل الاختبار المعملى لكوك المسابك على عدة اختبارات لتحديد النسبة المئوية لكل من الرطوبة Moisture والرماد ash والمواد المتطايرة Volatile Matter والكبريت Sulpher، وتوجد طرق قياسية Standard لتحديد هذه النسب . أما بالنسبة لتحديد نسبة الرطوبة تبعاً للمواصفات القياسية فلابد من تكسير الفحم فى كسارة فكية Jaw Crusher بسرعة فى وقت قصير ليصل حجمه النهائى إلى ١٦ مم (٠.٥ بوصة) ويتم تجفيفه بعد ذلك فى فرن ذات دورة هواء Air Circulation Oven .



شكل (٩٦) جهاز إختبار التهشم .

إختبارات المواصفات الطبيعية Testing-Physical

الاختبارات القياسية فى هذا المجال تشتمل على اختبار قياس درجة مقاومة الصدمات Impact ومقاومة الاحتكاك Abrasion وذلك عن طريق إجراء اختبار التهشيم Shutter واختبار الاحتكاك Micum .

اختبار التهشيم Shatter Test

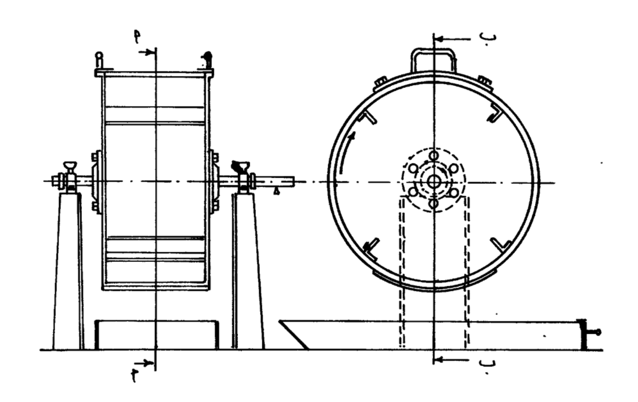
الشكل رقم (٩٦) يوضح جهاز إجراء هذا الاختبار ، حيث يتم وضع قطع الكوك التى يزيد مقاسها عن ٥١ مم تحت الاختبار بطريقة سقوط قياسية . ويتم تحديد نتيجة الاختبار بقياس النسبة المئوية للفحم المتبقى فى الغرابيل المختلفة بعد إجراء الاختبار . وتستخدم فى هذا الاختبار عينة كوك تزن حوالى ٢٥ كيلو جرام من نفس المقاس ، يتم وضعها فى صندوق ثم يتم إسقاطها ، ثم تعاد إلى الصندوق مرة أخرى وهكذا ، وتجرى هذه العملية أربع مرات متتالية ، وبعد الرمية الرابعة يتم غربلة عينة الفحم وتحديد كمية الكوك المتبقى فوق كل غربال وتحديد نتيجة الاختبار باستخدام دليل التهشيم Shatter Index .

اختبار مقاومة الاحتكاك Micum Test

هذا الاختبار من النوع التجريبى المقصود منه اصطناع تأثير سقوط قطع الكوك واحتكاكها مع بعضها البعض Rubbing واحتكاكها مع السطح الصلب لجهاز الاختبار كما يحدث فى أثناء عملية نقلها أو فى أثناء عمليات المناولة .

وفى هذا الاختبار يتم استخدام عينة كوك تزن حوالى ٢٥ كيلو جرام ، ويتم تدويرها Rotation بسرعة ثابتة ، وتصل عدد اللفات المطلوبة لإجراء ولإتمام الاختيار ١٠٠ لفة كاملة ، ويتم تحديد نتيجة الاختبار باحتساب نسبة الكوك المتبقية من العينة بعد غربلتها فى غربال مقاسه ٤٠مم .

وكمية الكوك المتبقية (فوق ٤٠ مم) تعطى مؤشراً لدرجة متانة الكوك ، ويزيد مؤشر المتانة (الدليل Index) مع زيادة متانة الكوك . كما أن كمية الكوك التى تمر من منخل ١٠مم تعطى مؤشراً على درجة مقاومة الاحتكاك لعينة الكوك Abrasion Resistance وكلما قلت كمية الكوك المارة من هذا المنخل كلما دلت على زيادة مقاومة الكوك للاحتكاك والشكل رقم (٩٧) يوضح الجهاز المستخدم لإجراء هذا الاختبار .



شكل (٩٧) جهاز إختبار مقاومة الاحتكاك لفحم الكوك .

توصيف فحم كوك المسابك Specification of Foundry Coke

بالاستعانة بمعلومية أن الاختبارات القياسية قادرة على تحديد خواص فحم الكوك فإنه من الممكن تحديد هذه الخواص لتجعل المسبك متأكداً من جودة نوعية الكوك الموردة له ، مع ضمان أنه سيعطى نتائج جيدة وكفاءة أداء لفرن الدست Cupola Performance . وعملية تحديد مواصفات كوك المسابك يجب أن تشتمل على بعض البنود مثل نسبة الرماد ونسبة المواد المتطايرة ونسبة الكربون الثابت Fixed Carbon ونسبة الكبريت .

نسبة الرماد Ash Content

يتم احتساب نسبة الرماد فى الكوك عن طريق تحديد نسبة الرماد فى الفحم الحجرى المستعمل فى إنتاج كوك المسابك وإلى أى مدى يمكن إزالة هذه الشوائب من الفحم الحجرى بطريقة اقتصادية ، وذلك عن طريق غسله بالماء . وبهذه الطريقة يمكن التحكم بعض

الشئ فى نسبة الرماد فى الكوك وتعتبر النسبة المرتفعة للرماد شيئاً غير مرغوب فيه ، حيث إنه يؤدى إلى انخفاض نسبة الكربون الثابت فى الكوك ، وبالتالى يؤدى إلى تخفيض القيمة الحرارية للكوك Calorific Value ، كما إنه يؤدى إلى تكوين كمية كبيرة من الخبث Slag والتى تستلزم متطلبات تسخين متزايدة . ومن المعروف لسنوات عديدة أن معدل نوبان الكربون الموجود فى الكوك يتناسب مع نسبة الرماد الموجودة فى الكوك .

وحديثاً ظهرت نقطة أخرى تتعلق بطبيعة الرماد الموجود فى كوك المسابك وعلاقته بدرجة اكتساب المعدن للكربون Carbon Pickup ، وهذه النقطة بدأت تظهر فى نهاية عام ١٩٧٢ أو فى اثناء عام ١٩٧٣ ، حيث اتضح حدوث تدهور Deterioration فى كمية الكربون المكتسب فى أثناء تشغيل أحد أفران الدست عند استعمال نوعية معينة من فحم الكوك . وبتسجيل النتائج فى مسبكين آخرين تم التأكد من هذه المعلومة ، وأظهرت أن هذا التدهور فى الكربون المكتسب قد يرجع إلى ارتفاع نسبة الرماد فى الكوك المستعمل . وقد لايكون السبب هو ارتفاع الرماد بالكلية ، حيث إن هناك بعض الخواص التى لم يتم تسجيلها والتى لم يتم قياسها فى فحم الكوك قد تتغير كنتيجة مباشرة لتغير نوع فحم الكوك وطريقة إعداد الفحم النباتى المستخدم فى خلطة أفران التكويك .

ولدراسة هذا الموضوع تم استحداث اختبار معملى بهدف ملاحظة أو الكشف عن معدل نوبان كربون فحم الكوك فى داخل حديد الزهر . وأظهرت نتائج هذا الاختبار بوضوح أن نسبة الرماد فى الكوك تعتبر عاملا هاما ومؤثرا فى درجة اكتساب الكربون .

وقد وجد أنه إذا تم تسخين الكوك لدرجة حرارة ٩٠٠°م فى جو مؤكسد Oxidizing Atmosphere وذلك فى فرن لافح Muffle Furnace حتى يحترق تماماً ، فإن الرماد المتبقى (بعد نخله فى غربال مقاس ١٠٠ مش) يتكون من ١ - ٢٪ حبيبات خشنة صخرية والباقى عبارة عن مواد ناعمة جداً . وقد يبدو من المحتمل أن يكون الرماد الناعم أساسه عبارة عن مواد معدنية داخلة فى تركيب الفحم الحجرى ، ويستحيل إزالته بأى نوع من أنواع الغسيل ، بينما يبدو أن الرماد الخشن عبارة عن روابط أو فواصل فى الفحم الحجرى يبدو أنه من الممكن التخلص منها وذلك بإجراء عملية غسيل الفحم الحجرى .

وقد أوضحت بعض الأبحاث الحديثة أن الكربون المكتسب يتحدد غالباً على أساس

نسبة الرماد الناعم أو الرماد المتحد الموجود فى الكوك ، ويتناسب تناسباً عكسياً مع كمية الرماد الناعم ، كما أن عملية اكتساب الكربون تعتمد على قابلية انصهار Fusibility الرماد الناعم الموجود فى فحم الكوك . وميكانيزم الرماد الناعم فى منع عملية التقاط الكربون تبدو كما لو كانت تشبه إلى حد بعيد حدوث انسداد Barrier على السطح الخارجى لقطعة فحم الكوك وهذا بالتالى يؤدى إلى تقييد وتقليل وتحديد Restricting كمية الكربون المتاحة للمعدن .

وبما أن كلاً من نسبة الرماد الناعم من فحم الكوك إلى جانب تركيبه الكيميائى يتم تحديدهما عن طريق أصناف الفحم الحجرى المستعملة فى إنتاج فحم الكوك ، فإنه يبدو لو أن المسابك تهتم بتوريد نوعية من فحم الكوك تكون ملائمة لعملية اكتساب الكربون للمعدن ، فإن هذا الوضع سيجعل المصانع المنتجة للكوك الخاص بالمسابك تولى عناية أكبر لعملية اختيار الأنواع الملائمة للعمل فى أفران الصهر والمسابك بانتقاء نوعيات جيدة من الفحم الحجرى الخاص بإنتاج الكوك .

المواد المتطايرة Volatile matter

تعتبر المواد المتطايرة من المواد غير المرغوب فيها أيضاً ، حيث إن وجودها يؤدى إلى انخفاض نسبة الكربون الثابت فى فحم الكوك ، كما أن وجودها يشير إلى حدوث عملية تفحيم غير مكتملة Incomplate Carbonization والتى قد تؤدى إلى إنتاج فحم كوك ذات خواص ضعيفة Poor Properties ، ويمكن لمنتج الكوك القيام بضبط نسبة المواد المتطايرة فى فحم الكوك الناتج .

الكربون الثابت Fixed Carbon

يتم تحديد نسبة الكربون الثابت فى فحم الكوك بعد خصم مجموع كل من نسبة الرطوبة ونسبة الرماد والمواد المتطايرة والكبريت من النسبة الكلية التى تمثل ١٠٠٪ . ونسبة الكربون من فحم الكوك مهمة جداً حيث إنها تحدد القيمة الحرارية لفحم الكوك Calorific Value بمعنى آخر أنه كلما زادت نسبة الكربون فى الكوك كلما زادت قيمة الاستفادة من الأموال المدفوعة فى شراء الكوك . وبصراحة فكلما زادت نسبة الكربون كلما كان هذا أفضل .

الكبريت Sulpher

الكبريت معروف جيداً كعنصر غير مرغوب فيه فى أى نوع من أنواع حديد الزهر ، ولهذا فكلما انخفضت نسبة الكبريت فى فحم الكوك كلما كانت نوعيته أجود . ولسوء الحظ فإن نسبة الكبريت فى فحم الكوك تعتمد على نسبة الكبريت الموجود فى رصيد الفحم الحجرى الموجود فى المناجم . وليس هناك طريقة معروفة حتى الآن لإزالة الكبريت من الفحم الحجرى ، والأكثر من ذلك أن الترسيبات التى تحتوى على فحم حجرى ذات نسبة منخفضة من الكبريت بدأت تنضب أو أصبحت غير اقتصادية التشغيل . ولهذا فإن الصناعات المختلفة عليها أن تتقبل احتمالية ارتفاع نسبة الكبريت فى كوك المسابك وعليها فى نفس الوقت أن تتقبل وعود المنتج فى أنه سيستخدم أفضل نوع متاح من أنواع الفحم الحجرى لإنتاج أفضل مايمكن إنتاجه من فحم كوك المسابك .

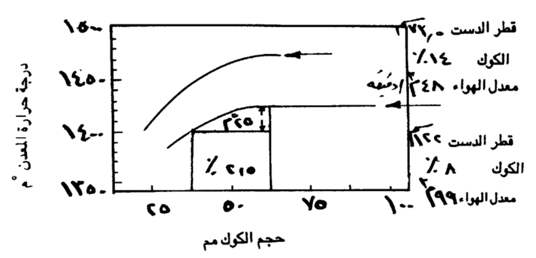
الرطوبة Moisture

تعتبر الرطوبة من المواد غير المرغوبة ، حيث إنه من غير المعقول أن تدفع أموال مقابل شراء ماء موجودة فى شحنة فحم الكوك ، حيث إنها تؤدى إلى تخفيض كمية الكربون الموجودة فى الكوك . ونقول : إنه من الضرورى احتواء الكوك على نسبة معقولة من الرطوبة وذلك لمنع احتراق السيور الناقلة Belt Conveyor ولمنع اشتعال الفحم عند نقله بسيارات النقل أو بعربات السكك الحديدية . وهذا الوضع معترف به ومأخوذ به فى جميع مصانع الكوك . ولضمان تعويض الرطوبة الزائدة فإنه ينصح بمراجعة وزن الكوك المورد مع مقارنته بوزن الكوك المرسل من المصنع وذلك للمطالبة بالمقابل المادى لفروق الأوزان .

الحجم Size

أصبح واضحاً تماماً أنه من الواجب والضرورى توصيف الخواص السابقة لفحم الكوك لضمان ألا يحيد عنها الفحم المنتج . وعلى أية حال فإن الخواص السابقة للفحم تعتبر أقل أهمية من خاصية حجم قطع فحم الكوك Coke Size ، حيث إنه يؤثر مباشرةً على معدل استهلاك الكوك ومعدل الصهر ودرجة حرارة المعدن . والسبب الرئيسى للشكوى من فحم الكوك فى الوقت الحاضر تأتى كلها من صغر الحجم أو الشكوى من حدوث تكسير Break إلى أحجام صغيرة بمرور الوقت عند وصولها إلى منطقة الصهر بفرن الدست . إذن

لماذا يعتبر حجم الكوك مهما ؟ هذا مايوضحه الشكل رقم (٩٨) حيث يبين أنه :



٢.٥٪ كوك = ٢٥°م = انخفاض ٢٠ ٪ من معدل الصهر

شكل (٩٨) تأثير حجم فحم الكوك على ضغط هواء الفرن .

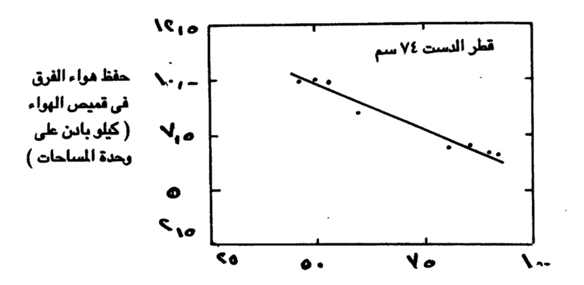
١- عند استعمال فحم كوك مقاس أقل من ٧٥مم فإن درجة حرارة المعدن تنخفض عند استعمال نفس كمية الفحم ، ويظهر هذا الوضع فى جميع أفران الدست ذات المقاسات المختلفة .

٢- عند استعمال فحم كوك مقاس ٦٤مم (٢.٥ بوصة) تنخفض درجة حرارة المعدن بمقدار حوالى ٢٥°م ، أقل مما لو استعمل فحم مقاس ٩٠مم (٣.٥ بوصة) .

٣- للحصول على نفس درجة الحرارة باستخدام فحم مقاس ٦٤ مم (بدلاً من مقاس ٩٠مم) فلابد من زيادة استهلاك الفحم بمعدل ٢.٥٪ . وفى حالة تدفق الهواء بنفس المعدل فإن معدل الصهر ستنخفض بمقدار ٢٠٪ .

والتأثير الإضافى لانخفاض حجم قطع فحم الكوك يوضحه الشكل رقم (٩٩) هو ازدياد ضغط الهواء المطلوب لتدفق نفس الحجم من الهواء داخل فرن الدست . وفى الأحوال التى لاتتمكن مروحة الهواء من زيادة ضغط الهواء الداخل للفرن فإنه يؤدى بالتالى إلى انخفاض معدل تدفق الهواء مع تأثير ذلك على انخفاض معدل الصهر .

ومن الواضح من هذه المعلومات أن زيادة حجم قطع الكوك أكبر من ٩٠ مم (٣.٥



شكل (٩٩) تأثير حجم الكوك على درجة حرارة المعدن .

بوصة) ليس له أى تأثير مفيد (وقد أثبتت بعض الاختبارات الحديثة باستعمال أنواع مخصوصة من الكوك الأمريكى والبريطانى ذات الأحجام الكبيرة هذه الحقيقة ، وأكدتها خصوصاً فى الأفران الكبيرة الحجم) . ومن المحتمل أن يكون هذا راجعاً إلى أن قطع الفحم الكبيرة تميل إلى أن تتشقق ، وهذا بالطبع يؤدى إلى انكسارها بسهولة فى أثناء نقلها وشحنها وفى أثناء وجودها داخل الفرن (الدست) نتيجة اصطدام واحتكاك الشحنات مع بعضها ، وعندئذ فإن قطع الفحم الكبيرة المتشققة بشدة قد تؤدى إلى حدوث تدهور de-Terioration لكفاءة أداء أفران الدست .

وللحصول على أداء مثالى Optimum لفرن الدست يفضل أن يكون المقاس المتوسط لفحم الكوك أكبر من ٩٠مم بحيث لايحتوى على فحم مقاسه ٥٠مم (٢ بوصة) بنسبة تزيد عن ٤٪ . وهناك بعض مصانع إنتاج فحم الكوك يمكنها إنتاج كوك بمقاس ١٠٧مم وبعضها يمكنها إنتاج فحم بمقاس ١٠٢مم كمقاس متوسط .

ومن المسلم به أيضاً أنه فى أى عملية توصيف يجب أن يكون هناك معيار لقياس معدل انخفاض حجم Degradation فحم الكوك فيما بين نقطة الإرسال (مصنع الكوك) وبين فرن الدست . ويمكن الحصول على هذه المعلومات من نتائج اختبارات التهشيم Shatter

ومقاومة الاحتكاك Micum ، وقد يكون هناك بعض الشكوك فى نتائج هذه الاختبارات على الرغم من وجود بعض المؤشرات التى تم الحصول عليها من نتائج أجريت فى ألمانيا ، حيث أثبتت أن الكوك الذى يعطى أدلة لمقاومة الاحتكاك بدرجة عالية Large Micum Indices (حيث إن الوضع العادى يتراوح بين M_{40} , M_{10}) مثل M_{80} أو M_{100} يعطى ثقة أكبر فى جودة الكوك .

مواصفات كوك المسابك Foundary Coke Specification

المواصفات القياسية لكوك المسابك موضحة فى جدول رقم (٢٠) ، وهذه المواصفات تمثل خواص فحم الكوك عند منطقة إنتاجه من فرن التكويك Coke Oven . ويجب أن نسلم بأن هذا أقصى مايمكن إنجازه باستخدام خامات الفحم الحجرى المتاحة حالياً ، وتتم عملية مراجعة من وقت لآخر للعلاقة بين ماهو متاح من أنوا ع الفحم الحجرى وبين التحسينات التى يتم إجراؤها فى عملية التكويك Coking Practice . وفى وقتنا الحاضر يتم اتخاذ دليل التهشم ٢ً Shatter Index 2\" على اعتبار أنه المقاس اللازم لقياس مقاومة فحم الكوك لانخفاض حجمه Degradation Resistance نتيجة عمليات النقل .

جدول (٢٠) مواصفات كوك المسابك

اسم مصنع الكوك	Cwm	Coedely	Norwood	Lambton	Derwenthaugh
الرطوبة	٤٪ حد أقصى	٥.٥٪ حد أقصى	٣٪ حد أقصى	٣٪ حد أقصى	٣٪ حد أقصى
الرماد	٩٪ حد أقصى	٩٪ حد أقصى	٩٪ حد أقصى	٩٪ حد أقصى	٩٪ حد أقصى
المواد الطيارة	١٪ حد أقصى	٠.٧٪ حد أقصى	٠.٠٧٪ حد أقصى	١٪ حد أقصى	١٪ حد أقصى
الكبريت	٠.٨٥٪ حد أقصى	٠.٨٥٪ حد أقصى	١٪ حد أقصى	١٪ حد أقصى	١٪ حد أقصى
٢ً دليل التهشيم	٩٠ حد أدنى	٩٠ حد أدنى	٩٠ حد أدنى	٩٠ حد أدنى	٩٠ حد أدنى
الحجم					
الحجم المتوسط	٤.٢ً حد أدنى	٤.٠ً حد أدنى	٤.٢ً حد أدنى	٤.٢ً حد أدنى	٤ً حد أدنى
الحجم الأقل من المعدل	الحجم الأقل من ٢ً يجب ألا يزيد عن ٤٪ .				

كل هذه المواصفات هى خواص الكوك بعد خروجه مباشرة من أفران التكويك (تسليم المصنع)

مساعدات الصهر Cupola Fluxes

إن الغرض الأساسى من إضافة مساعد الصهر إلى شحنة فرن الدست هو الحصول على خبث ذات قوام سائل Liquid Slag بجانب الشوائب التى يتم شحنها فى الفرن مثل الرمل والصدأ الموجودين فى الخامات المعدنية ، بالإضافة إلى مواد التبطين التى تنصهر فى أثناء تشغيل الفرن .

وفى عمليات الصهر باستخدام خبث قاعدى يتم إضافة مساعد الصهر بكميات كافية وذلك لتعديل تركيب الخبث إلى التركيب المناسب . ومن الخامات المستخدمة الحجر الجيرى Lime Stone والنوع الجيد منه يكون تركيبه على النحو التالى :

أكسيد كالسيوم (جير)	CaO	٥٤ ٪ على الأقل	٩٦٪ الحد الأدنى
ثانى أكسيد الكربون	CO_2	٤٢٪ على الأقل	
سيليكا (ثانى أكسيد السيليكون)	SiO_2	٢٪ على الأكثر	٤٪ الحد الأقصى
ألومينا (أكسيد الألومنيوم)	AL_2O_3	١٪ على الأكثر	
أكسيد حديد	Fe_2O_3	١٪ على الأكثر	
مغنسيا (أكسيد الماغنسيوم)	MgO		

وإذا احتوى مساعد الصهر على نسبة أعلى من السيليكا فيجب زيادة كمية الحجر الجيرى عن الحد المقرر . وعند استعمال حجر جيرى من النوعية الجيدة فيتم استخدام كمية يمثل وزنها حوالى ٢٥ – ٣٠٪ من وزن شحنة فحم الكوك المستخدمة فى الفرن .

الفلورسبار Fluorspar (الحجر الفلورى – فلوريد الكالسيوم البللورى)

فى بعض الأحيان يتم استخدام الفلورسبار كوسيلة لتحسين سيولة جلخ الفرن Fluidity خصوصاً فى حالة الخبث القاعدى . وهذا لايؤدى إلى أى غرض أكثر من زيادة سيولة الجلخ .

الباب الثانى عشر
طرق بزل وتخزين المعدن المنصهر
Tapping Methods and Receivers

إن طريقة البزل المتواصل Continuous Tapping مع استخدام مستقبل Receiver أصبحت هى الطريقة الأكثر انتشاراً مع الاتجاه المتزايد نحو استخدام طرق الإنتاج المستمر فى السباكة .

وكثيراً مالايعتد بفكرة إقامة أنظمة بزل متواصل ومستقبلات ولا توضع فى الاعتبار فى الكثير من التفاصيل . ونتيجة لهذا فإنها كثيراً ماتطبق فى أوقات غير مناسبة بالمرة وأحياناً لاتطبق فى الظروف التى يجب أن تطبق فيها .

وعلى الرغم من أن قرار استعمال طريقة البزل المتواصل أو المتقطع يجب أن يعتمد بدرجة قصوى على ظروف المسبك الخاصة والتى توضع بمعرفة المسبك ذاته ، إلا أنه يجب أن يوضع فى الاعتبار المزايا والعيوب التالية :

مزايا نظام الصب المتواصل

١- الميزة الواضحة لنظام الصب المتواصل هو تلافى الحاجة إلى عمليات البزل المتتالية Tapping وعمليات سد فتحة البزل Botting . وهذا الوضع له أهمية خاصة فى المسابك الميكانيكية والتى تتطلب ظروف عملها توافر المعدن المنصهر بصفة مستمرة لملء البواتق بمعدلات صغيرة تتناسب مع مايقوم فرن الدست بصهره . وكلما قلت عدد ساعات العمل أو معدل الصهر أو درجة الميكنة كلما قلت ميزة العمل بطريقة البزل المتواصل حتى نصل إلى حد معين يتوقف عنده إمكانية تنفيذ هذه الطريقة .

٢- عند استعمال نظام البزل المتقطع Intermittently فإن كمية المعدن الموجودة فى خزنة الفرن قد تتغير بدرجة كبيرة فى أثناء الصهرة نفسها ، إلا إذا تم السيطرة بدقة على عملية البزل . بينما فى نظام البزل المستمر تتبقى كمية صغيرة نسبياً فى خزنة الفرن بصفة مستديمة . كما أن الاختلاف الكبير فى درجة التقاط الكربون

أحياناً ماتصاحب طريقة البزل المتقطع خصوصاً عند صهر نوعيات من الحديد منخفض الكربون Low Carbon وقد تتلاشى هذه الظاهرة إذا تواجد المعدن بكميات صغيرة وحدث تلامس بينه وبين الكوك فى فترات منتظمة قبل وصوله إلى فتحة الصب Taphale .

٣- عند استعمال نظام الصب المتواصل مقترناً مع مستقبل (خزان) Receiver ذى سعة كافية لحفظ المعدن ليوَفِّى المتطلبات المختلفة للمسبك . عندئذ يمكن ضبط عملية الصهر بمعدل ثابت ، وبذلك يمكن الحصول على ظروف ملائمة تماماً لعملية تشغيل فرن الدست مع الحصول على درجة حرارة منتظمة للمعدن مع تركيب كيميائى منتظم .

٤- العديد من الصعوبات التى يقابلها المسبك تتلاشى عند تحويل الفرن من نظام البزل المتقطع إلى نظام البزل المتواصل . فمثلاٍ يمكنه أن يمنع عملية حدوث فشل فى غلق فتحة الصب التى أحياناً ماتحدث ، كما يمنع انسداد فتحة الصب بالزهر البارد Hard Taphole ، كما يمنع حدوث تسرب للمعدن من فتحة الصب ، كما يمنع وصول الخبث إلى الودنات أو البوتقة .

مساوئ نظام الصب المتواصل

١- مع استخدام نظام البزل المتواصل تتبقى كمية صغيرة جداً من المعدن فى خزنة المعدن بفرن الدست ، ولهذا السبب يكون من المناسب وجود خزان لاستقبال المعدن ذات سعة كافية وذلك لضمان عدم وجود تذبذب Fluctuation فى تركيب المعدن . وهذا يعنى تكاليف إضافية فى التركيب والتشغيل والصيانة .

٢- على الرغم من أن درجة حرارة المعدن تكون أعلى عند فتحة الصب ، إلا أن معدل تدفق المعدن Metal Flow Rate إلى البوتقة يعتبر أقل مما فى حالة البزل المتقطع . وفى أثناء تدفق المعدن من الفرن إلى البوتقة أو الخزان يحدث فقد شديد فى درجة الحرارة . وهذا الفقد يزيد كلما قل معدل الصهر ، ولهذا فإن معدلات الصهر التى تقل عن ٣ طن / ساعة يكون معدل فقد الحرارة فيها من تيار المعدن الرفيع معدلاً عالياً .

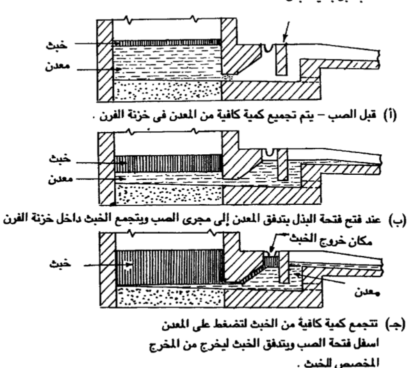
الطرق المختلفة للبزل المتواصل

فيما يلى نعرض الطرق الرئيسية المستعملة فى الحصول على تيار ثابت من المعدن المنصهر من أفران الصهر (الدست) بدون الحاجة إلى سد فتحة البزل بعد كل مرة تمتلأ فيها البوتقة .

طريقة البزل والتجليخ الأمامى المتواصل

Continuous Front Tapping and Slagging

إن أفضل الطرق تفضيلاً للحصول على تيار متواصل من المعدن من فرن الدست يمكن الحصول عليه باستخدام التجليخ الأمامى Front Slagging Spout . وإن تصميمات مجرى الصب الأمامى المستخدمة للبزل والتجليخ تختلف اختلافاً واسعاً ، لكن المبدأ الأساسى دائماً واحد فى جميع التصميمات . والشكل رقم (١٠٠) يوضح مثالاً لأحد التصميمات الفعالة والتى سبق تجربتها وأثبتت كفاءة .



شكل (١٠٠) الطريقة المستمرة للبزل الأمامى والتجليخ الأمامى .

وعادة يتم سد فتحة الصب Taphole بالرمل قبل بداية تشغيل المروحة (الشكل رقم ١٠٠-أ) وليس من المعتاد فتح هذه الفتحة قبل تجميع كمية كافية من المعدن فى خزنة الفرن ليتدفق بغزارة Flush خلال مجرى الصب وليصل إلى البوتقة أو المستقبل . ومع تقدم عملية الصهر تتجمع كمية من الجلخ فى خزنة الفرن (الشكل رقم ١٠٠ - ب) وبعد فتح فتحة الصب ينخفض مستوى السطح الفاصل بين المعدن وبين الخبث ، وبالتالى يتمكن الخبث من الهروب من خلال فتحة الصب كما هو موضح بالشكل رقم (١٠٠ - ج) ، ثم يلى ذلك تدفق المعدن والخبث معاً تبعاً لمعدل صهر المعدن ، ثم يرتفع سطح الجلخ إلى أعلى مرة أخرى حتى يصل إلى الحز الخاص بتسريب الجلخ The Slag Notch .

وعندما يتدفق المعدن والجلخ بحرية من الفرن ، فإن الضغط الفيروستاتيكى Ferro-static Pressure الناتج عند السطح العلوى للمعدن الذى يكون على ارتفاع (x) فى الشكل رقم (١٠١) يساوى ضغط السائل Fluid Pressure من الجلخ الموجود داخل خزنة الفرن والذى يساوى ارتفاعه المقدار (S) بالإضافة إلى ضغط الغاز (أ) Gas Pressure على سطح الخبث العلوى .

وارتفاع المعدن (x) بوصة يتناسب مع عمق الخبث (s) بوصة ومع ضغط الغاز تبعاً للعلاقة التالية :

$$0.25\ x = 0.087\ S + 0.036\ P$$

$$\text{or} \qquad x = 0.348\ S + 0.144\ P$$

حيث إن 0.036 , 0.087 , 0.25 عبارة عن كثافة كل من الماء والخبث المنصهر والمعدن المنصهر على التوالى معبراً عنها بوحدة الرطل / بوصة٣ (lb/in^3) .

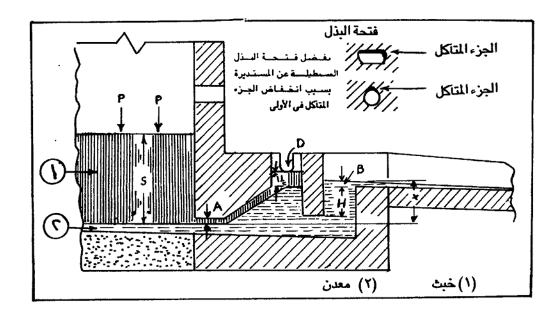
وحيث إن النسب بين الكثافات المختلفة لاتتغير بتغير الوحدات لذلك فإن العلاقة بين x , s , p فى الوحدات الفرنسية (المترية) كما هى .

$$x = 0.348\ S + 0.144\ P$$

وقيمة ضغط الغاز (p) فى خزنة الفرن تكون أقل من ضغط الهواء فى قميص الهواء Windbelt وتكون فى حدود ٨٠٪ من قيمة ضغط الهواء . ولهذا فقد تعتبر قيمة صغيرة فى

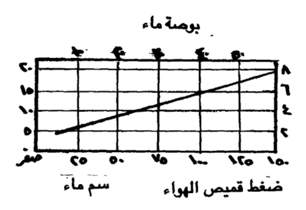
حالة استخدام هواء ذات سرعات عالية (فى حالة استخدام ودنات صغيرة المساحة) .

إن تحديد المقاسات الصحيحة لمجرى الصب Spout عملية فى غاية الأهمية وتعتبر أهم مسافة هى الارتفاع (H) وهى المسافة الرأسية بين قمة فتحة الصب Top of Tap-hole وبين قاع تيار المعدن Metal Overflow فى نهاية مجرى الصب (انظر الشكل رقم ١٠١) .



شكل (١٠١) ابعاد مجرى الصب فى حالة البزل والتجليخ الامامى المستمر .

فإذا كان هذا الارتفاع صغيرا ، فإن ضغط المعدن فى مجرى الصب لن يكون كافياً ليقاوم ضغط الغاز فى خزنة الفرن ، فإن فتحة الصب سيتسرب منها غازات الفرن ، أما إذا كان الارتفاع (H) كبيراً جداً Too High فإن الجلخ سوف يرتفع داخل الفرن ، وقد يصل إلى مستوى الودنات قبل أن يتسرب من خلال فتحة الصب .



شكل (١٠٢) طريقة إعداد فتحة تصريف المعدن العلوية .

والشكل رقم (١٠٢) يوضح الأوضاع المختلفة للحز الخاص بتيار المعدن Metal Overflow Notch . وهذه الأوضاع تم تحديدها بناءً على العلاقة (المعادلة) السابقة ، وذلك لإعطاء ارتفاع للجلخ داخل الفرن فى حدود ٢٠ سم (٨ بوصة) ، ويمكن الاحتفاظ بمستوى للجلخ أعلى من هذا ، وذلك بزيادة ارتفاع تيار المعدن (H) والعكس بالعكس.

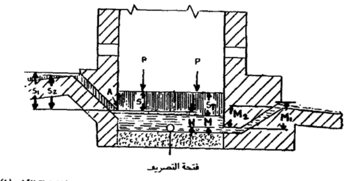
عند استخدام العلاقة السابقة لحساب ارتفاع المعدن (تيار المعدن) H للحصول على ارتفاع معين للخبث ، فيجب ملاحظة أن ارتفاع المعدن (x) فى الشكل رقم (١٠٣) ليس هو المسافة الرأسية بين قمة فتحة الصب وبين قاع تيار المعدن ولكنه يزيد عنه بالسمك B وهو ارتفاع المعدن الذى يغمر الحز الخاص بتيار المعدن بالإضافة إلى المسافة A وهى سمك طبقة الجلخ الذى يعلو المعدن أسفل قمة فتحة الصب .

بالنسبة للعلاقة بين مقاس فتحة الصب Taphole Size وبين مقاس الفرن فهى مسألة غير ذات أهمية ، حيث يتم عمل فتحة الصب واسعة بدرجة كافية وذلك لتعطى تياراً غير محدود من المعدن والخبث معاً . وعادة ماتستعمل فتحة عمقها ٦٤ مم (٢,٥ً) وعرضها ٨٩ مم (٣,٥ بوصة) ، مع وجود الأركان مستديرة . وكما هو موضح فى شكل رقم (١٠١) فإن هذا النوع من الفتحات يفضل عن الفتحات الدائرية Round ، حيث إنها تؤدى إلى تقليل النحر الرأسى Vertical Erosion فى قمة فتحة الصب . وبالتالى تحافظ على مقاسات فتحة الصب ثابتة طوال عملية الصهر .

ويتم تجهيز مجرى الصب باستخدام مواد حرارية مركوكة Ramming Refractories حول شكل مناسب . وبالنسبة لأفران الدست الحامضية تكون الحراريات المستخدمة هى الجانستر ذات نقطة الانصهار العالية Ganister of High Fusion Point أما فى حالة صهر كميات كبيرة من المعدن أو فى حالة ماإذا كانت درجة حرارة المعدن مرتفعة فإنه يفضل استعمال الجانستر المخلوط بالجرافيت أو تراب البواتق القديمة . والعديد من هذه المواد أصبحت متوافرة حالياً . ويمكن الحصول على نتائج أفضل بكثير فى حالة استعمال مواد حرارية للرك تحتوى على نسبة عالية من الألومينا High Alumina .

الطريقة المستمرة للبزل الأمامى والتجليخ الخلفى أو الجانبى

Continuous Front Tapping and Rear- or Side Slagging



* سيفون الجلخ

معادلة الاتزان الهيدروليكى

$0.087 S1 = 0.0875 + 0.036 P$

$\therefore S1 = S + 0.414 P$ (1)

* سيفون المعدن معادلة الاتزان الهيدروليكى

$0.25 M1 = 0.25 + 0.087 S_T + 0.144 P$ (2)

* مثال

مطلوب الارتفاع الكلى الخبث S_T = ٩ بوصة

إرتفاع المعدن M = ٦ بوصة .

الضغط فى قميص الهواء = ٣٠ بوصة ماء .

إفرض أن الضغط الخزان = ٠,٨ × ضغط قميص الهواء

= ٢٤ بوصة . ماء .

قطر فتحة خروج المعدن = ٣ بوصة

قطر فتحة خروج الخبث = ٣ بوصة

المسافة بين سطحى المعدن والخبث عن نقطة A = ١ بوصة .

* لحساب سيفون الجلخ (المعادلة الأولى (١))

$S_1 = S + 0.414 P$

$S = S_T - 1 = 9 - 1 = 8$

$\therefore S_1 = 8 + 0.414 \times 24 = 8 + 9.9 = 17.9$ in

* ولحساب سيفون المعدن (المعادلة الثانية (٢))

$M1 = M + 0.348 S_T + 0.144 P$

$= 6 + 0.348 \times 9 + 0.144 \times 24$

$= 6 + 3.13 + 3.46 = 12.6$ in

اجعل ارتفاعات فتحات تصريف الخبث والمعدن S_2 , M_2 اصفر مكيلاً من الارتفاعات المحسوبة وذلك لوضع سمك تيار الخبث والمعدن فى الاعتبار عند فتحات التصريف

الارتفاع H بين مخرجى الخبث والمعدن (المخرج العلوى)

$= 6 + 1 = 7$ in

شكل (١٠٣) الطريقة المستمرة للبزل الامامى والتجليخ الخلفى .

فى هذه الطريقة الموضحة فى الشكل رقم (١٠٣) يتم سحب المعدن والخبث خلال سيفونات مختلفة Separate Siphons . ويقتصر استخدام هذا النوع على أفران الدست الكبيرة . وهى تمتاز عن النوع السابق (طريقة البزل الأمامى للمعدن والخبث معاً) . ففى النوع السابق يتم تخزين كمية صغيرة من المعدن داخل خزنة الفرن ، وهذا يعطى فرصة كبيرة لحدوث تغيير بدرجة زائدة فى تركيب المعدن عند فتحة الصب . وهذا الاختلاف فى التركيب عموماً يعتبر عيبا خطيرا Serious إذا كانت الشحنات المعدنية تتكون من مواد غير متشابهة فى خواصها الطبيعية والكيميائية ، وعلى هذا فيجب تزويدها بخزان خارجى بهدف إعطاء الفرصة لحدوث تساوى فى التركيب الكيميائى للمعدن المنصهر النازل من الفرن . بالإضافة إلى أن المعدن يظل فترة صغيرة جداً فى حالة تلامس مع الكوك فى خزنة الفرن ، وهذا يؤدى إلى انخفاض الكمية المكتسبة من الكربون.

أما فى حالة الطريقة المستمرة للبزل الأمامى والتجليخ الخلفى أو الجانبى ، فإن كمية المعدن التى يتم الاحتفاظ بها فى خزنة الفرن يمكن تثبيتها تبعاً للتصميم المناسب لسيفونات المعدن والجلخ . وعلى أية حال إذا لم يكن عمق السيفون كبيراً فلن يكون هناك مخزون كافٍ فى خزنة الفرن وبالتالى إذا استخدمت فى هذه الطريقة بواتق صغيرة لسحب المعدن ذات حجم أقل بكثير من وزن الشحنة الواحدة للفرن فيجب أن يكون هذا الوضع مقصوراً على الأفران التى تتكون شحنتها من خليط من الخامات التى يكون الإختلاف فى تركيبها الكيميائى غير واضح أو غير كبير كما فى حالة زهر التماسيح Pig Iron وخردة حديد الزهر Cast Iron Scrap . والميزة الأخرى لهذه الطريقة هى السماح بالضبط الأفضل لظروف أداء البطانة الحرارية . فمثلاً يمكن عمل مجرى وفتحة الصب الخاصة بالخبث من عجينة الكربون المركوك Carbon Ramming Paste ، أما مجرى وفتحة الصب الخاص بالمعدن فيمكن عملها من مادة الجانستر المجرفت Graphitized Ganister أو من مادة رك لدنة تحتوى على نسبة مرتفعة من الألومينا . وهذه نقطة مهمة عند مفاضلتها فى حالة التشغيل مع الجلخ القاعدى .

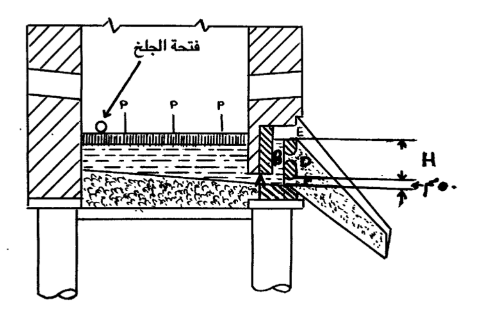
ولايتم فتح ثقب الجلخ قبل مرور فترة تتراوح من نصف ساعة إلى ساعة من بداية عملية الصهر ، وذلك لضمان تجمع كمية كافية من الخبث فى خزنة الفرن ليمكنها الاندفاع وتسخين مجرى صب الجلخ ، ولتحاشى تجمد الجلخ . وانسداد مجرى صب الجلخ فى بداية

الصهرة . وفى هذه الفترة يجب مراقبة الودنات بعناية لضمان أن مستوى السطح العلوى للخبث لن يصل إلى ودنات الهواء . كما يجب عمل الاستعداد اللازم لتصريف مابداخل خزنة الفرن فى نهاية الوردية .

إن طريقة تقدير مقاسات سيفون المعدن وسيفون الخبث لتحديد العمق المطلوب لكل من المعدن والخبث موضحة فى الشكل رقم (١٠٣) . وقد قام Pleczarski بتقديم بعض التفاصيل عن تصميم ومقاسات السيفونات الخاصة بسحب المعدن الأمامى فى عمليات البزل المستمر وسحب الخبث من الخلف . وقد قام بعمل مخطط بيانى Nomogram لها حيث يمكن الحصول من هذا المخطط على الأبعاد المناسبة للمتطلبات المختلفة لعملية البزل .

عملية البزل المستمر باستخدام سيفون من الطوب الحرارى
The Siphon Brick

يوضح الشكل رقم (١٠٤) طريقة البزل باستخدام الطوب الحرارى حيث ثقب (A) فى ظهر طوبة السيفون وهذا الثقب يسمح للمعدن بالدخول خلال المجرى (B) والتى تمر لأعلى فى منتصف الطوبة .



شكل (١٠٤) طريقة طوبة السيفون المستخدمة فى بزل المعدن فى فرن الدست .

وفى مقدمة الطوبة يوجد ثلاثة ثقوب (E,D,C) وكل ثقب منها متصل بالمجرى الرئيسية (B) . وفى بعض الأحيان يوجد ثقبان فقط . وفى بداية عملية الصهر يترك الثلاثة ثقوب مفتوحة . وعندما يبدأ المعدن فى الانصهار يسمح له بالتدفق خلال الثقب السفلى (C) حتى يسخن . يتم بعدها غلق (سد) هذا الثقب (C) ويسمح للمعدن بالارتفاع خلال المجرى الرئيسية (B) ليتدفق من خلال الثقب الثانى (D) . وقبل مرور المعدن خلال الثقب الثانى يجب إضافة بعض الرمال الأرضية إلى مجرى الصب مع ركها بهدف رفع مستوى أرضيتها أو تعليتها . وعندما يسخن الثقب الثانى بدرجة كافية يتم غلقه ، وسده ويتم اتخاذ نفس الإجراء بالنسبة للثقب الثالث (E) . ويجب إعداد مجرى الصب لتعطى تدفقا سهلا للمعدن من الثقب العلوى عندما يمر خلاله .

وفى حالة ماإذا كان مطلوباً إيقاف تدفق المعدن من هذه الفتحة فكل ماهو مطلوب فى هذه الحالة هو تقليل الهواء أو إيقاف المروحة ، وهذا التصرف يؤدى إلى تقليل ضغط الهواء (P) فى خزنة الفرن ما يؤدى إلى ارتفاع مستوى المعدن داخل خزنة الفرن ، وبالتالى ينخفض مستواه داخل طوبة السيفون . والارتفاع (H) يجب أن تكون قيمته على الأقل ١سم لكل ٦٧٦ باسكال (pa) من ضغط الهواء المنفوخ Blast Pressure أو بنسبة ١:٧ من مقياس ضغط الماء Water.Gauge (w.g) وذلك لضمان وجود الكمية الكافية من المعدن فى خزنة المعدن لسد فتحة طوبة السيفون .

أما الخبث فيمكن التخلص منه بطريقة مستمرة أو متقطعة من فتحة الخبث الموجودة أسفل الودنات بمسافة مناسبة . أما إذا سمح بتجميع الخبث فإن كمية المعدن التى يتم حفظها فى خزنة المعدن ستصبح أقل نسبياً . وهناك بعض التأييد لجعل ثقب الخبث مفتوحا باستمرار بهدف الحصول على أجود خلط لمكونات شحنة الفرن .

إن استخدام طريقة البزل هذه تكون مفيدة جداً عند الحاجة إلى كمية صغيرة من المعدن على فترات زمنية منتظمة وإن استخدام هذه الطريقة لهذا الغرض يقتصر عموماً على المسابك التى تقوم بإنتاج مسبوكات من الزهر الفوسفورى Phosphoric Iron . ويتم تصريف المعدن عن طريق فتح محبس الهواء ، ويتم غلق محبس الهواء جزئيا أو كلياً مرة أخرى عند امتلاء كل بوتقة . وعند التشغيل بهذه الطريقة (أسلوب الهواء المتقطع) فإن

فرن الدست يحتاج إلى كميات إضافية من فحم الكوك أكثر من طريقة التشغيل العادية ، وذلك للاحتفاظ بدرجة حرارة المعدن . والأكثر من هذا أن عملية الصهر تجرى بمعدل بطئ جداً إذا كانت مروحة الهواء متوقفة . وهذا النوع من التشغيل لن يعطى كمية المعدن التى يتم الحصول عليها فى حالة التشغيل المستمر لمروحة الهواء فى فرن دست له نفس مقاس القطر الداخلى . ولهذا السبب إذا تم تشغيل فرن الدست بهذه الطريقة (الهواء المتقطع) فإن معدل الصهر فى هذه الحالة يجب أن يكون أكبر من معدل الصهر المطلوب فعلاً .

وفى بعض الأحيان يتم استخدام طوبة السيفون كوسيلة للحصول على تيار متواصل (غير متقطع) من المعدن من فرن الدست . وفى هذه الحالة يجب أن يظل معدل الهواء ومعدل الصهر فى حدود المعدلات المطلوبة . وعند استخدامها بهذه الطريقة فيجب استخدام بوتقة أو خزان قلاب Tilting Receiver وفى حالة التوقفات الطويلة قد يصبح من الضرورى تصفية الخبث ثم تصفية المعدن من خزنة الفرن عن طريق فتح الثقب السفلى (C) الموجود فى طوبة السيفون . ويجب تصفية خزنة الفرن بهذه الطريقة فى نهاية الصهرة وذلك قبل إسقاط باب قاع الفرن .

خزانات المعدن Receivers

إن أى وعاء يدخل بين فرن الدست وبين البواتق المحمولة يمكن اعتبار أنه خزان مستقبل Receiver ، وعند الفصل فى الأمر لتحديد ماإذا كان للخزان فائدة أم لا فيجب عمل دراسة بعناية للمزايا والعيوب التى سنحصل عليها .

المزايا Advantages

١ – إذا كان الخزان ذات سعة كافية فإنه سيقوم بعمل تعادل أو موازنة للاختلاف الموجود فى تركيب المعدن عند مجرى الصب . ولتحقيق هذا الغرض لوحده ؛ فكلما زادت سعة الخزان كلما كان افضل ، لكن فى حالة ثبات معدل التدفق فإن الفقد فى درجة حرارة المعدن يزيد بزيادة حجم الخزان . ولهذا فيجب عمل الحل الوسط . وعند صهر خليط من زهر التماسيح وخردة حديد الزهر فإن سعة الخزان يجب أن تعادل وزن شحنتين من شحنات الفرن على الأقل .

وإذا كانت نسبة خردة الصلب فى شحنة الفرن نسبة مرتفعة فيجب أن يتسع الخزان لمعدن يعادل وزن ثلاث شحنات أو أربعً على الأقل . أما إذا كانت الشحنة تتكون أغلبها من خردة صلب مع نسبة مرتفعة من السبائك الحديدية فإن الخزان يجب أن يتسع لكمية من المعدن تكفى لمدة تصل إلى الساعة إذا كان مطلوباً الحصول على معدن ذات تركيب متجانس . وفى هذه الحالة واعتماداً على نوع المعدن المنتج وعلى درجة حرارة الصب المطلوبة يصبح من الضرورى استخدام الخزان المسخن من ناحية الفقد المحتمل فى درجة الحرارة .

٢ – يقوم الخزان بتخزين المعدن ليقابل الطلب المختلف عليه ، ولذا فإن ظروف عمل الفرن فى هذه الحالة تكون أكثر توافقاً وتناسباً من ظروف تشغيل فرن دست يصب معدنه مباشرة فى بواتق المسبوكات (يعمل بدون خزان) .

يجب أن يكون معروفاً تماماً أنه إذا كان مطلوباً الحصول على تجانس فى التركيب لحجم معين من المعدن لايكون متوفراً طوال الوقت وفى آن واحد ليوفى الطلب المتغير عليه . وفى الواقع فمن المتفق عليه أن يسمح بامتلاء ثلثى الخزان فقط ، وذلك للسماح للتغير الحادث بين عملية طلبه وبين التوقف عن طلبه .

٣ – إن الخزان يمنح نفسه تماماً لعملية البزل المستمر . إن عملية البزل المستمر بدون استخدام خزان مستقبل هى عملية محدودة تماماً ؛ لكنها أحياناً ماتستعمل مقرونةً بمجرى قلاب Tilting Spout فى نهايتها سلسلة من البواتق يتم ملؤها بالتتابع . ومن ناحية أخرى فإنه عند استعمال خزان تصبح عملية البزل المستمر هى الوضع المعتاد ولكنه ليس الأساسى .

٤ – فى حالة المعدن الذى يحتاج إلى أى عملية معالجة (مثال ذلك إزالة الكبريت) تصبح هذه العملية أكثر سهولة فى خزان الاستقبال ، كما أن الحاجة إلى إزالة الخبث من كل بوتقة تصبح عملية ملغاة تماماً .

العيوب Disadvantages

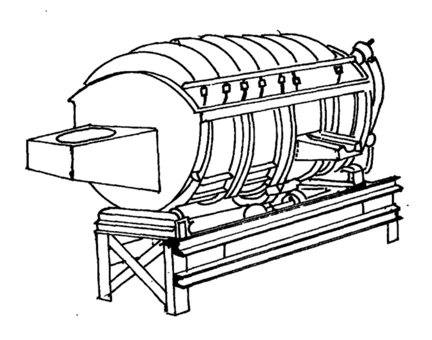
١ – التكاليف الإضافية للمعدات وتكاليف صيانتها .

٢ – المعدن الذى يتم صبه من خزان عادى عادة ماتكون درجة حرارته أقل من درجة

حرارة صبه من فرن الدست . وإن الفقد فى درجة حرارة المعدن الذى يمر على خزان نادراً مايقل عن ٤٠°م ، وقد يكون أكثر من ذلك ، خصوصاً فى حالة أفران الدست صغيرة الحجم أو إذا كان الخزان ذات حجم كبير نسبياً بالمقارنة مع معدل صهر فرن الدست . وإذا لم يؤخذ فى الاعتبار الاحتياطات الخاصة بضرورة التسخين المبدئى للخزان قبل صب المعدن فيه ، فإن الفقد فى درجة الحرارة سيكون كبيراً جداً فى بداية الصهر .

تصميم الخزان Receiver Design

هناك اختلاف كبير فى أنظمة تصميمات الخزانات . لكنه من الممكن تصنيفها بشئ من التوسع إلى نوعين اثنين هما : النوع الثابت Fixed والنوع القلاب Tilting . وفى وقتنا الحاضر يستعمل النوع الثابت على نطاق ضيق جداً . أما الخزانات من النوع القلاب فهى عادة ماتكون عبارة عن بواتق برميلية الشكل Barrel Ladles ذات مقطع دائرى أو على شكل حرف "U" كما هو موضح بالشكل رقم (١٠٥) وقد تكون من النوع الساكن Static أو



شكل (١٠٥) خزان المعدن القلاب الذى على شكل حرف U .

النوع المتحرك Mobil . ما يجب تغطية الخزان مع ترك فتحة صغيرة بقدر الامكان لدخول المعدن كعنصر تأمين . ويجب أن يكون الخزان مزوداً بمجرى على شكل مصب براد الشاى Tea Pot Spout والذى يمكن به سحب المعدن من قاع الخزان وذلك لضمان تفريغ المعدن النظيف الخالى من الخبث .

الخزانات المسخنة Heated Receivers

إن الخزانات التى يتم تسخينها تكون دائماً على شكل حرف "U" ، كما يتم تزويدها بمواقد دائمة تعمل بالمازوت أو الغاز Permanent Oil or Gas Burners . وهذاالنوع يمتاز عن النوع غير المسخن بأن الفقد فى درجة حرارة المعدن يكون أصغر . وعلى أى حال يجب أن يكون واضحاً لدينا أن هذا النوع من الخزانات لايقوم برفع درجة حرارة المعدن الذى يحتويه . وتكون هذه الخزانات أكثر تكلفة فى إنشائها وتشغيلها وصيانتها ، ولكن نظراً للمزايا التى يتم الحصول عليها ، مثل درجة الحرارة العالية والثابتة والتركيب الكيميائى المنتظم والتخزين الكبير للمعدن والذى يستمر لفترة طويلة فان هذا النوع من الخزانات يعتبر ذات أهمية قصوى على الرغم من ارتفاع تكاليفه التى يمكن التغاضى عنها .

الخزانات المسخنة بالتيار الكهربى
Electrically Heated Receivers

تستخدم الأفران الكهربية على نطاق واسع كوحدات ضبط واحتواء Holding Units لتخزين المعدن الذى يتم صهره فى أفران الدست . وبهذا الوضع فإن الفرن الكهربى يقوم بإمدادنا بمخزون متوازن ومنظم من حديد الزهر ، ولهذا فيمكن لفرن الدست أن يعمل بطريقة البزل المتواصل غير معتمد على اختلاف الطلب على المعدن داخل المسبك . وبعد حدوث أى توقف للمسبك لأى سبب فإنه يمكن إمداد المسبك بالمعدن المطلوب بصورة فورية وفى الحال عند إعادة التشغيل مرة أخرى ، وبدرجة الحرارة الصحيحة للصب ، لتلافى التكاليف الزائدة بسبب التخلص من المعدن البارد على شكل تماسيح ، كما أن السعة الكبيرة للصبة الواحدة من الفرن الكهربى تساعد على تجانس التركيب الكيميائى للحديد الزهر المنصهر . وبالمقارنة بالخزانات ذات التسخين باستخدام الوقود السائل فإن الخزانات التى يتم تسخينها بالتيار الكهربى لديها إمكانية أن تحتفظ بدرجة حرارة المعدن أو زيادتها .

الباب الثالث عشر
مستلزمات الهواء غير الملوث
Clean-Air Requirements

تلوث الهواء والقوانين المنظمة له Legislation

إن الحفاظ على الهواء من التلوث أصبح مطلباً حيوياً وضرورياً . ومع تزايد عمليات التصنيع أصبحت ضرورة الحفاظ على نقاء الهواء الجوى أمراً مُلحاً على مستوى كوكب الكرة الأرضية . مما حدا بالكثير من الحكومات المحلية فى معظم دول العالم الاتجاه إلى سن القوانين والتشريعات التى تحُد وتمنع تلوث الجو ، وتضع شروط الأمان الصناعى التى يلزم توافرها فى مختلف عمليات التصنيع ، بهدف ضمان وجود حد أدنى لعمليات تنقية عوادم هذه الصناعات من المواد الصلبة والسائلة والغازية . كما أن بعض الحكومات قامت بتشكيل هيئات متخصصة أو وزارة متخصصة للمحافظة على البيئة . وفى بريطانيا مثلاً قامت الحكومة المحلية ووزارة التعمير بإصدار التوصيات التالية فى عام ١٩٦٨ ، وهى :

١- يجب استخدام الطرق الحديثة فى إشعال أفران الدست والتى لاينتج عنها أدخنة .

٢- يجب أن تتم عملية الاحتراق كاملةً داخل جسم الفرن ، وهذا يتأتى فى الغالبية العظمى إما بالتشغيل الجيد المناسب للفرن أو بواسطة استخدام اللهب المستقل فى مدخنة الفرن .

٣- جميع أفران الدست يجب أن تكون مزودة بوسائل لتقليل تطاير الحصى Grit والأتربة Dust . ويسمح باستخدام أجهزة تنقية عوادم الأفران بالطريقة الجافة Dry Arresters عموماً فى حالة استخدام أفران الدست التى يكون معدل الصهر فيها أقل من ٣ طن / ساعة والتى تعمل مدة لاتزيد عن ٢٥٠ ساعة / سنوياً . بالإضافة إلى ضرورة استعمال أجهزة التنقية التى تعمل بالطريقة الرطبة Wet Arresters فى أفران الدست التى يزيد معدل الصهر فيها عن ٥ طن . ساعة وتعمل أكثر من ٥٠٠ ساعة / سنوياً . ومابين هذين الحدين يتم تحديد الطريقة المناسبة تبعاً

للدراسة.

٤- أفران الدست الحديثة (الجديدة) أو القائمة حالياً والتى يتم الشكوى منها بسبب ماينتج فيها من دخان أو غازات أو روائح ، يجب أن تكون مزودة بمدخنة يتم تحديد ارتفاعها عن طريق الجداول الخاصة بارتفاعات المداخن ، وذلك فيما عدا المداخن التى يجب إلا يقل ارتفاعها عن ٦٥ قدم (٢٠ متر) . أما فى حالة الأفران الجديدة أو الحالية التى يكون بها أو من المحتمل أن يكون بها مشكلة خاصة بالأدخنة الميتالورچية (الغبار Fume) فيجب أن يوضع فى الاعتبار ضرورة تركيب وحدة تنقية لهذه الأدخنة الميتالورچية فى المقام الأول ؛ وإذا اتضح أن هذه الوحدة غير عملية فيجب تشتيت هذه الأدخنة من خلال مدخنة لايقل ارتفاعها عن ١٢٠ قدم (٣٦ متر) . والأفران الحديثة التى ليس من المؤكد أن تظهر فيها مشكلة الغبار الميتالورچى ، يجب أن يكون أساسها وإنشاءاتها من المتانة بدرجة كافية لتكون قادرة على تحمل وزن المدخنة التى يزيد ارتفاعها عن ١٢٠ قدم أو أكثر .

تحديد ارتفاع مدخنة الفرن Determination of Chimnay Height

عند تشغيل أفران الدست يجب حساب معدل انتشار غاز ثانى الكبريت خلال الساعة الواحدة من الساعات الفعلية للتشغيل . كما يتم حساب أقصى معدل لاستهلاك الوقود . ومن المعروف أن الوضع المثالى لنسبة الكبريت فى فحم كوك المسابك حوالى ٧٠,٠٪ . ويمكن افتراض أن المعدن المنصهر يقوم بامتصاص مايعادل ٥٠٪ من الكبريت وأن مايعادل ٣٠ - ٥٠٪ من الكبريت المتبقى يتم امتصاصه عن طريق رذاذ المياه المستعملة فى نظام أجهزة التنقية بالطريقة الرطبة المركب على مدخنة الفرن .

ومع افتراض أن نسبة الكبريت فى الكوك تصل إلى ٧٠,٠٪ فإن النسبة المتبقية منه بعد امتصاص المعدن لجزء منه تكون حوالى ٣٥,٠٪ (وهذه النسبة يجب أن تؤخذ فى الحسبان عند تحديد ارتفاع مدخنة فرن الدست الذى يعمل بجهاز التنقية ذات الطريقة الجافة) . أما الأفران التى تستعمل الطريقة الرطبة لتنقية عوادم الغازات فإن نسبة الكبريت المتبقية بعد امتصاص المعدن وبعد امتصاص مياه الجهاز للكبريت قد تصل إلى ٢٠٪ من نسبتها فى فحم الكوك (وهذه النسبة يجب أن تؤخذ فى الأعتبار عند تحديد

ارتفاع المدخنة فى أفران الدست المزودة بأجهزة تنقية تعمل بالطريقة الرطبة أو المبللة) .

وبناءً على هذه التوصيات السابقة فإن الصورة المحتملة للظروف المستقبلية لأفران الدست ذات الهواء البارد تكاد تكون معروفة تماماً . وفى عام ١٩٧٢ أقامت الحكومة المحلية فى بريطانيا بالاشتراك مع وزارة التعمير المؤتمر الثانى لوضع توصيات بخصوص الحدود المسموح بها لنسب الأتربة والحصى عند تشغيل أفران الدست ذات الهواء البارد وغيرها من الأفران ولم تضع توصيات جديدة ولكنها اعتبرت أن التوصيات السابقة فى المؤتمر الأول تعتبر كافية ومقبولة . وقد قام هذا المؤتمر بتحديد الحدود المسموح بها لنسب الأتربة والحصى المقذوفين مع غازات الأفران ، سواء فرن الدست أو غيره من الأفران المنتشرة فى بريطانيا أو فى غيرها من الدول .

قياس معدلات المقذوفات من فرن الدست

Measurement of Emission

إن الحدود الموضوعة لمقذوفات أفران الدست التى يصل معدل صهرها حتى ١٠ طن/ ساعة تنفذ بصورة خاصة على الأتربة والحصى المقذوف . أما الأفران التى تطلق فى أثناء تشغيلها غبارا ميتالورجيا فيلزمها تقنية خاصة ضرورية لقياس معدل إشعاع هذه الأغبرة Fumes ؛ وهذا يمكن إجراؤه باستخدام جهاز أخذ العينات لتحديد الحجوم Size Selecting Sampler والذى يتخلص من الأتربة والحصى الموجود فى عينة تيار الهواء المختبر . أما الدقائق الأصغر من التراب (وقد تم الاتفاق على تسميتها دقائق Particles والتى يكون مقاسها أقل من ميكرون واحد $1M_m$) ، والتى يمكن أن تمر من خلال السيكلون Cyclon فإنه من الممكن أن تحتجز خلال فلتر ذات مقاس اختيارى ، ثم يستخدم وزن المقذوفات التى تم احتجازها فى السيليكون فى تحديد معدل القذف the Emission Rate .

وبالنسبة لأفران الدست الكبيرة (معدل صهرها يزيد عن ١٠ طن / ساعة) فقد تم إصدار توصية بضرورة إضافة وزن الغبار الميتالورجى الذى يتم اصطياده بواسطة فلتر التجميع الاختيارى Backing Filter إلى وزن الغبار الذى تم اصطياده عن طريق السيكلون عند حساب معدل القذف Emittion Rate وذلك لمعرفة كمية الغبار الممكنة والتى تسبب إقلاق للراحة (إزعاج) فى مثل هذه النوعية من الأفران .

التحكم فى مقذوفات فرن الدست Control of Emission

بالنسبة لأفران الدست الصغيرة (التى يقل معدل صهرها عن ٣ - ٤ طن / ساعة) . تم وضع الحدود المقترحة بصورة تسمح باستعمال السحب الطبيعى البسيط Simple Natural Draught مع الفلتر الرطب Wet Arrester . حتى فى حالة أفران الدست الأصغر حجماً أصبح جهاز التنقية بالطريقة الرطبة ضرورة حتمية . انظر الجدول رقم (٢١، ٢٢) .

جداول حدود المقذوفات المسموحة والموصى بها
جدول (٢١) أفران الدست الحالية

معدل الصهر (طن / ساعة)	المقذوفات المسموحة من الحصى والتراب رطل / ساعة	المقذوفات المسموحة من الحصى والتراب والغبار	نوع أجهزة التنقية المناسبة
١	٦.٦		Simple wet arrester
٢	١٣.٢		
٣	١٩.٨		
٤	٢٦.٤		
٤+	١٧.١		Multi - cyclones or medium intensity scrubbers
٥	١٨.٠		
٦	١٨.٩		
٧	١٩.٦		
٨	٢٠.٣		
٩	٢٠.٩		
١٠	٢١.٥		
١١		٢٢.١	High intensity scrubber
١٢		٢٢.٦	or fabric filter
١٣		٢٣.١	or electro static
١٤		٢٣.٦	precipitator

للأفران الأكبر من ١٤ طن / ساعة يضاف ٠.٥ رطل / ساعة لكل طن / ساعة زيادة فى معدل الصهر

جداول حدود المقذوفات المسموحة والموصى بها

جدول (٢٢) أفران الدست الحديثة

معدل الصهر (طن / ساعة)	المقذوفات المسموحة من الحصى والتراب رطل / ساعة	المقذوفات المسموحة من الحصى والتراب والغبار	نوع أجهزة التنقية المناسبة
٣ ٣ + تعديل طريقة العمل	١٩.٨ ١٥.٧		Simple wet arrester
٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ١٠	١٧.١ ١٨.٠ ١٨.٩ ١٩.٦ ٢٠.٣ ٢٠.٩ ٢١.٥		Multi cyclones or medium intensity scrubbers
١١ ١٢ ١٣ ١٤		٢٢.١ ٢٢.٦ ٢٣.١ ٢٣.٦	High intensity scrubber or fabric filter or electro static precipitator

للأفران الأكبر من ١٤ طن / ساعة يضاف ٠.٥ رطل / ساعة لكل طن / ساعة زيادة في معدل الصهر

بالنسبة لأفران الدست متوسطة الحجم (معدل الصهر من ٣ - ٤ طن / ساعة حتى ١٠ طن / ساعة) يكون مطلوب تزويدها بأنظمة تجميع مروحية Fan Powered Collector Systems . وهذه الأنظمة ذات كفاءة متوسطة ، حيث إنه ليس من المطلوب تجميع الغبار الميتالورجي Fume ؛ ويكون من المناسب تركيب عدة سيكلونات Multicyclones أو أجهزة غسيل الغازات متوسطة التركيز Medium-Intensity Scrubbers . واستخدام المروحة Fan يؤدي إلى زيادة كفاءة التجميع ، وينعكس هذا بالطبع على الطريقة المستخدمة تبعاً لمعدل المقذوفات المسموح به (يفترض أن تغيير الأسلوب أو طريقة المعالجة يجب أن تتم عند

٤ طن / ساعة بالنسبة للأفران الحالية وعند ٣ طن / ساعة بالنسبة للأفران الحديثة وذلك بناء على الوضع المقبول فى الصناعة) .

أما بالنسبة للأفران التى يزيد معدل صهرها عن ١٠ طن / ساعة فيجب أن يكون معدل الإشعاع لها يساوى أو قريب من المعدل غير المرئى At Invisible Rate . ولتنفيذ ذلك فيجب أن تستخدم المجمعات ذات الكفاءة العالية ، مثال ذلك أجهزة غسيل الغازات عالية الشدة High Intensity Scrubbers والفلاتر الصناعية Fabric Filters أو المرسبات الألكتروستاتيكية Electrostatic Precipitators ، حيث إنها تناسب هذه الظروف . ومن المحتمل أن يكون هناك بعض الاستثناءات خاصة بالأفران الكبيرة ومتوسطة الحجم التى تعمل لفترات محدودة ولكن هذا الموضوع مازال محل بحث ودراسة .

تطبيق الحدود المسموح بها على الأفران الحالية والحديثة
Application of Limits to New & Existing Cupolas

تم الاتفاق بناء على التشريعات المعمول بها فى بريطانيا على السماح بتركيب وحدات تنقية غازات الأفران ذات الكفاءة المتوسطة والكفاءة العالية فى مدة لاتزيد عن ثمانى سنوات . أما بالنسبة لوحدات تنقية الغازات التى تعمل بالطريقة الرطبة والسحب الطبيعى فيجب تركيبها فى فترة لاتزيد عن ثلاث سنوات .

تحديد معدل الصهر Definition of Melting Rate

ويهدف وضع التشريعات المنظمة فى هذا المجال فمن المحتمل أن يتم تحديد معدل الصهر بناء على قياس القطر الداخلى للفرن عند منطقة الودنات . وحيث إن هذه الطريقة لاتعطى معدل الصهر الدقيق ، فيتم تحديده بمعرفة الشحنة وذلك للمساعدة فى إخراج التشريعات الجديدة بصورة جيدة ومناسبة للتطبيق وقد تمت التوصيه باستعمال هذه المعادلة : معدل الصهر (طن / ساعة) = ٠,٠٦ × مساحة مقطع الفرن عند الودنات (قدم٢) .

ارتفاع المدخنة Discharge Height

لم تتم التوصية بارتفاعات محددة لمداخن الفرن ، لكن من المفترض ان ارتفاع المداخن يجب ألا يقل عن ٦٥ قدما كما هو موصى به بالنسبة لأفران الدست ذات الهواء

البارد .

الأدخنة المنبعثة Smoke Emission

لم تكن هناك توصية محددة بخصوص الأدخنة المنبعثة من أفران الدست والتى تنتج عن احتراق الخردة الملوثة Dirty Scrap . أما بالنسبة لفرن الدست ذات الهواء البارد فتم التوصية فى حالة ماإذا كان ذلك ممكناً بوجوب احتراق الدخان قبل خروجه من مدخنة الفرن حتى ولو كان من الضرورى تركيب ولاعات فى مكان لاحق After Burner .

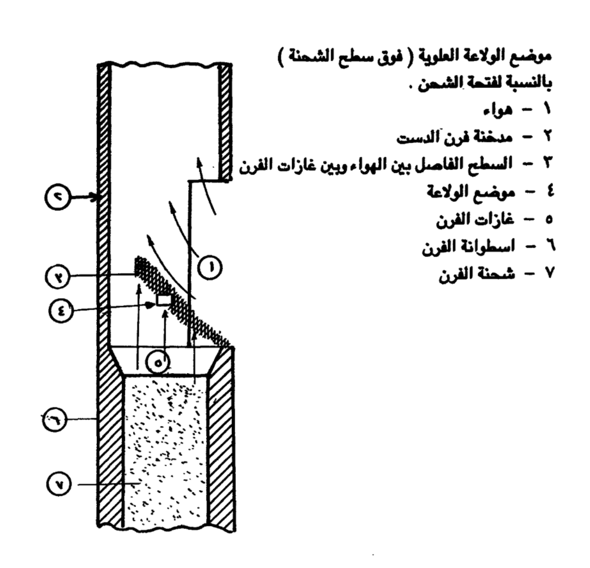
الامتثال للتوصيات Compliance with Requirements

أولاً : بالنسبة لأفران الدست ذات الهواء البارد (الأدخنة Smoke)

قد تحترق غازات الفرن فوراً بمجرد اختلاطها مع الهواء الداخل للمدخنة عن طريق باب شحن الخامات ، إما إذا لم تحترق فعادةً مايتم الأحتراق بمساعدة ولاعات فوق سطح الشحنة Afterburners موضوعة لهذا الغرض . وعموماً فإنه كلما زادت نسبة الكوك فى الشحنة وكلما صغرت المسافة بين الودنات وبين مستوى العتبة السفلية لشباك الشحن كلما زاد احتمال إمكانية احتراق غازات المدخنة .

والشكل رقم (١٠٦) يوضح رسماً لإحدى الولاعات البسيطة الموضوعة فى المكان المناسب والتى تعمل بالمازوت أو الغاز . وأقل معدل استهلاك محتمل بالنسبة لولاعات الأفران ذات الحجم الصغير والمتوسط يكون فى حدود ١٨-٣٢ لتر / ساعة (٤ - ٧ جالون / ساعة) بالنسبة لوقود المازوت أو مايكافئها من الغاز .

بالنسبة لشحنات الأفران التى تحتوى على نسبة منخفضة من الفحم (أقل من ١١٪) ينتج عنها غازات ضعيفة الاحتراق Weak Gases أو تحت حدود الأحتراق Below the Limits of Combustion ، وفى هذه الحالة غير العادية يكون من الصعب حدوث اشتعال لغازات الفرن أو يكاد يكون من المستحيل حدوثه فى أفران الدست العادية . أما شحنة الفرن التى تحتوى على ١١ - ١٤٪ فحم كوك فقد يحدث اشتعال تلقائى لغازات الفرن Spontaneaus . وإذا لم يحدث اشتعال فعادةً مايمكن إحداثه عن طريق استخدام الولاعات . أما شحنة الفرن التى تحتوى على كوك بنسبة تزيد عن ١٤٪ فعادة مايحدث اشتعال ذاتى (تلقائى) ، وإذا لم يحدث إشتعال فيمكن لولاعة صغيرة أن تحافظ على



شكل (١٠٦) موضع الولاعة العلوية (فوق سطح الشحنة) بالنسبة لفتحة الشحن .

عملية الاحتراق بسهولة ويسر (انظر الجدول رقم ٢٣) .

جدول (٢٣) علاقة شحنة الكوك بدرجة اشتعال الغازات الخارجة من الفرن

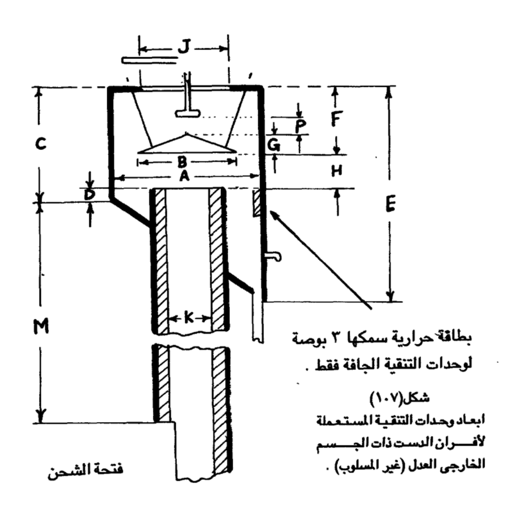
	شحنة الكوك (المعدن : الكوك)		
	تحت ١١٪ ١ : ٩	من ١١ إلى ١٤٪ ١:٩ – ١:٧	فوق ١٤٪ ٧ :١
الاشتعال التلقائى فوق فتحة الشحن	لايحدث	يحدث أحياناً	يحدث دائماً
قدرة الولاعة على البقاء فى حالة اشتعال	صعبة	عادة ماتشتعل	مشتعلة دائماً

إن أسهل وأرخص طريقة للتخلص من دخان فرن الدست عندما يشتعل لأعلى هى أن تستخدم ولاعة مازوت أو غاز لاشعال الكوك . فهى تساعد على تكوين نفق Tunnel فى فرشة الكوك عند باب إشعال فرشة الفرن Fettling Door وذلك بتجميع الكوك حول ماسورة قطرها ١٥ سم (٦ بوصة) ، ثم يتم سحبها فيما بعد . ويتم توجيه لهب الولاعة فى اتجاه النفق . إن عملية الإشعال باستخدام الغاز والمازوت تكون أسرع وعادةً أرخص من استعمال الخشب والمواد الكهنة Waste Material .

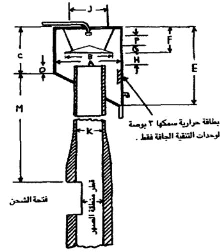
ثانياً : بالنسبة لأفران الدست ذات الهواء البارد (الحصى والتراب والغبار) Cold-Blast Cupola-Grit, Dust and Fume

ان التوصيات الحالية تنادى باستخدام وحدات تنقية الغازات البسيطة سواء الجافة منها أو الرطبة بهدف تجميع الحصى والتراب من معظم أفران الدست . وان تصميم وحدات التنقية Arrester Design واحد سواء كانت تعمل بالطريقة الجافة أو المبللة . فإذا تمت بالطريقة الجافة فيلزمها بطانة حرارية كما هو موضح بالشكلين رقمى (١٠٧ ، ١٠٨) .

والجدول رقم (٢٤) يوضح المقاسات التفصيلية لوحدات تنقية الهواء ؛ ولكن كوضع عام يجب أن تكون وحدة التنقية ذات حجم كبير Large (وذلك لتقليل مقاومة مرور غازات الفرن) ، كما يجب أن تكون سميكة (لتعطى عمر خدمة معقول) على أن يتم تثبيتها فوق باب الشحن (ليمد المدخنة بسحب طبيعى كاف) .



شكل(١٠٧)
ابعاد وحدات التنقية المستعملة لأفران الدست ذات الجسم الخارجى العدل (غير المسلوب) .



شكل(١٠٨)
ابعاد وحدات التنقية اللازمة لأفران الدست ذات الجسم الخارجى المسلوب والتى تحتوى على فتحات شحن صغيرة. وبالنسبة للقطر K يجب ألا يقل عن قطر منطقة الصهر .

جدول (٢٤) أبعاد التصميم الأساسى لجهاز التنقية (الحاجز أو المعطِّل) Arresters

قطر منطقة الصهر	القطر المبطن فوق باب الشحن	قطر الصاج	قطر القمع B	المقاســـات									معدل تدفق الماء
				J	H	G	P	M	D	F	C	E	
سم	سم	سم	سم	سم	سم	سم	سم	سم	سم	سم	سم	سم	لتر / دقيقة
٥٣	٦٩	١٦٠	١٠٧	١٢٢	٣٨	١٨	١٨	٦١٠	٢٣	٥٣	١١٤	٢٠٦	١٣٦
٦١	٧٦	١٧٥	١١٤	١٣٠	٤٦	٢٠	٢٠	٦١٠	٢٣	٦١	١٣٠	٢٢٩	١٨٢
٦٩	٨٤	١٩٨	١٣٠	١٤٥	٤٦	٢٣	٢٣	٦١٠	٢٣	٦٩	١٣٧	٢٥١	٢٢٧
٧٦	٩١	٢١٣	١٣٧	١٦٠	٥٣	٢٣	٢٣	٦١٠	٢٣	٦٩	١٤٥	٢٦٧	٢٧٣
٨٤	٩٩	٢٢٩	١٤٥	١٦٨	٦١	٢٥	٢٥	٦١٠	٢٣	٧٦	١٦٠	٢٩٠	٣٤١
٩١	١٠٧	٢٤٤	١٥٢	١٨٣	٦١	٢٥	٢٥	٦١٠	٣٠	٧٦	١٦٨	٣٠٥	٤٠٩
٩٩	١١٤	٢٥٩	١٦٨	١٩٨	٦٩	٢٨	٢٨	٦١٠	٣٠	٨٤	١٨٣	٣٣٥	٥٠٠
١٠٧	١٢٢	٢٧٤	١٧٥	٢١٣	٧٦	٣٠	٣٠	٦١٠	٣٠	٩١	١٩٨	٣٥٨	٥٩١
١٠٧	١٣٠	٢٩٠	١٨٣	٢٢٩	٧٦	٣٠	٣٠	٦٤٠	٣٠	٩١	١٩٨	٣٦٦	٦٣٦
١١٤	١٣٧	٣٠٥	١٩١	٢٤٤	٨٤	٣٣	٣٣	٧٠٠	٣٠	٩٩	٢١٣	٣٨٩	٧٢٧
١٢٢	١٤٥	٣٢٠	١٩٨	٢٥١	٨٤	٣٣	٣٣	٧٣٠	٣٠	٩٩	٢١٣	٣٩٦	٨١٨
١٣٠	١٥٢	٣٣٥	٢٠٦	٢٦٨	٩١	٣٦	٣٦	٧٦٠	٣٠	١٠٧	٢٢٩	٤١٩	٩٥٥
١٣٧	١٦٠	٣٥١	٢١٣	٢٧٤	٩١	٣٦	٣٦	٧٩٠	٣٠	١٠٧	٢٢٩	٤٣٤	١٠٠٠
١٤٥	١٦٨	٣٦٦	٢٢١	٢٩٠	٩٩	٣٨	٣٨	٨٥٠	٣٠	١١٤	٢٤٤	٤٥٧	١٠٩١
١٥٢	١٨٣	٣٩٦	٢٣٦	٣٢٠	١٠٧	٣٨	٣٨	٩١٥	٣٠	١١٤	٢٥١	٤٨٠	١١٨٢

ويمكن لوحدة التنقية التى تعمل بالطريقة الرطبة Wet Arrester أن تقوم بجمع حوالى نصف المواد الصلبة الموجودة فى غازات الفرن أو يزيد وحوالى ٣,٠ - ٥,٠ كمية غاز ثانى أكسيد الكبريت Sulpher Dioxide . أما بالنسبة لوحدة التنقية الجافة فإن كفاءتها أقل ولايمكنها إزالة أياً من ثانى أكسيد الكبريت .

وعلى وجه الاستثناء فقد تُطلب وحدات تجميع أكثر كفاءة وهذه تحتاج إلى وحدات تجميع مروحية متغيرة تعمل بالطاقة الكهربية ، أما وحدات التجميع متوسطة الكفاءة مثل السيكلونات فيمكنها أن تزيل معظم الأجسام الصلبة ، ولكنها لاتستطيع تخفيض عتامة الغازات Gases Opacity . ولجعل الغازات الخارجة غير مرئية تقريباً فلابد من استعمال وحدة تجميع قادرة على تنظيف Cleaning الغازات لأقل من ١١٥ مللى جرام / متر مكعب (0.05 grain/ft^3) . وتستخدم وحدات قليلة من هذا النوع فى أفران الدست ذات الهواء البارد فى بريطانيا .

وقبل أن يتم تنقية الغازات بأى طريقة خلاف طريقة التجميع الرطبة أو الجافة فيجب أولا أن يتم تجميعها فى ماسورة رئيسية Duct ؛ وإذا استبعدنا أفران الدست المغلقة من أعلى فإن هناك فرصة للاختيار بين سحب الغازات من فوق باب الشحن وبين سحبها من خلال مأخذ off-takes أسفل مستوى باب الشحن (شحنة الفرن) .

سحب غازات الفرن من فوق باب الشحن

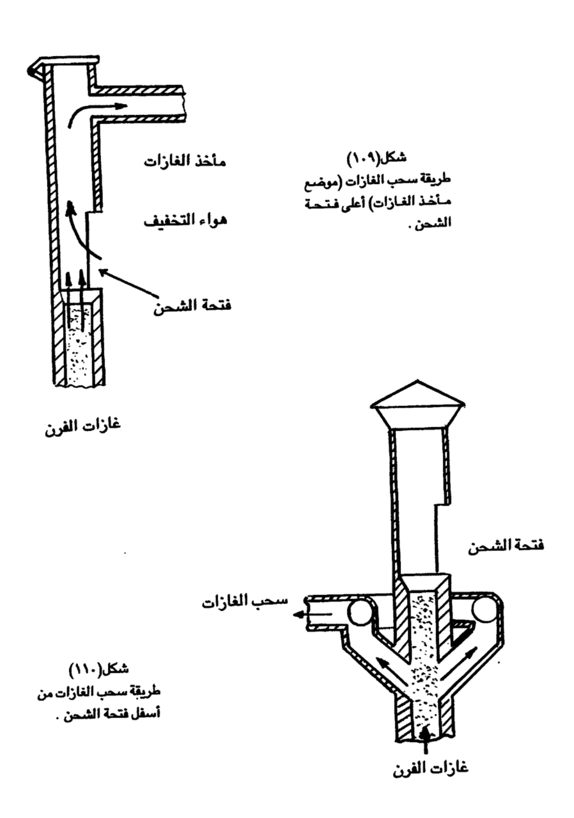
Above-Charge-Hole Off Take

فى هذه الطريقة يسمح باحتراق الغازات فى مدخنة الفرن ، لكنها تؤدى إلى زيادة كمية الغازات الواجب تنقيتها ؛ والشكل رقم (١٠٩) يبين رسم توضيحى لهذه الطريقة .

سحب الغازات من أسفل باب الشحن

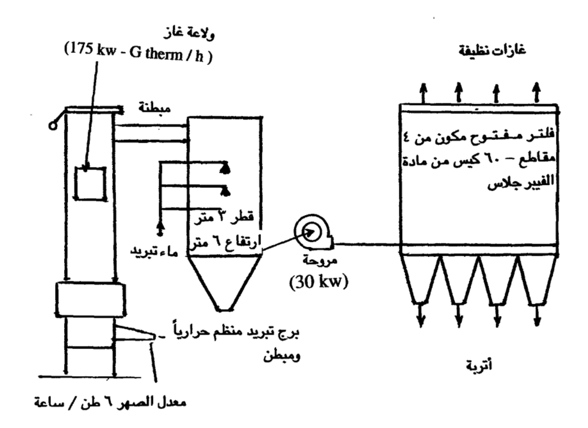
Below-Charge-Hole Off Take

وهذه الطريقة تسيطر على غازات الفرن تماماً ، لكنها تؤدى إلى تقليل حجم وحدة التجميع ، وقد يؤدى هذا إلى تحديد فرصة اختيار وحدة النظافة The Cleaner والشكل رقم (١١٠) يوضح رسماً لهذا النوع .



شكل(١٠٩)
طريقة سحب الغازات (موضع مأخذ الغازات) أعلى فتحة الشحن .

شكل(١١٠)
طريقة سحب الغازات من أسفل فتحة الشحن .



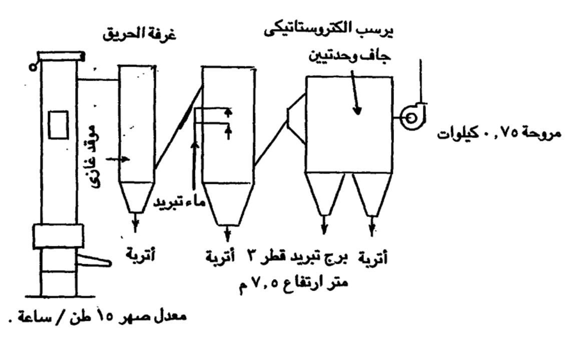
شكل (١١١) وحدة تنقية مثالية لغازات فرن دست باستخدام الفلاتر bag filter .

الفلاتر المصنعة Fabric Filters

انتشر استعمال هذا النوع من الفلاتر لأفران الدست انتشاراً واسعاً فى الولايات المتحدة الأمريكية ، ويتم تبريد الغازات عادة عن طريق تبخير المياه حتى درجة حرارة ٢٥٠°م Controlled Evaporation of Water ثم دفعها خلال فلتر مصنع من الفيبرجلاس . والشكل رقم (١١١) يوضح هذا النوع من الوحدات . ويجب أن تكون الغازات خالية من الدخان Smoke وأبخرة الزيوت Oily Vapours ، ومن ناحية أخرى فإنه يحدث انسداد Blinding لأجزاء الفلتر . ولهذا يجب إشعال الغازات قبل دخولها الفلتر ، وحيث إن الوحدة تكون تحت تأثير ضغط سالب Negative Pressure فإن هذا الأمر يصبح ممكناً .

أجهزة الترسيب الالكتروستاتيكية Electrostatic Precipitators

تقوم أجهزة الترسيب الالكتروستاتيكية بتجميع الحبيبات الدقيقة particles عن طريق التجاذب الالكتروستاتيكي Electrostatic Attraction . والشكل رقم (١١٢) يوضح أحد الأنظمة . وهذا النوع أكثر تكلفة من غيره ولكنه يتميز بأن الطاقة المطلوبة له أقل . ويجب التخلص من الدخان وأبخرة الزيوت أولاً عن طريق إشعالها . وتلاقى أجهزة الترسيب هذه انتشاراً محدوداً جداً فى أفران الدست وقد يكون السبب وراء ذلك هو حاجتها للصيانة الدقيقة Specialized Maintenance ، وقد يرجع السبب فى الحقيقة إلى الحساسية المفرطة Rather Sensitive لهذه الأجهزة لدرجة حرارة الغازات بالإضافة لحساسيتها للرطوبة الموجودة فى غازات أفران الدست Gas Temperature and Humidity .



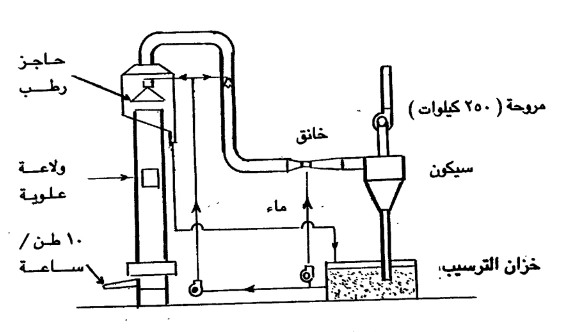
شكل (١١٢) وحدة تنقية غازات فرن دست من نوع المرسب الالكتروستاتيكى الجاف .

أجهزة غسيل الغازات ذات الطاقة العالية

High Energy Scrubbers

تعتبر أجهزة غسيل الغازات هى أوسع شكل من أشكال وحدات التنقية Collector بالنسبة لأفران الدست ، وأحد أنواع هذه الأجهزة هى أجهزة الغسيل الفنشورية Venturi Scrubber ، وهذا النوع هو الأكثر انتشاراً ، لكن النوع الآخر ذات المفتت Disintegrator يحمل بعض المزايا العملية . ويتم تبريد غازات الفرن باستخدام مياه إضافية مع سحبها من خلال أنبوبة فنشورية Venturi Tube إلى حيث يتم تبريدها مرة أخرى باستخدام رذاذ المياه . والشكل رقم (١١٣) يوضح رسماً توضيحياً لهذا النوع من أجهزة غسيل الغازات .

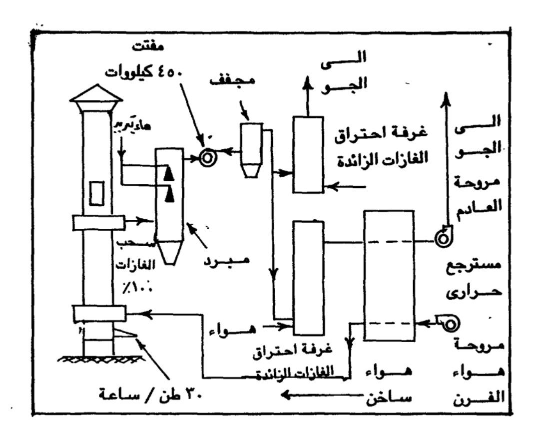
أما بالنسبة للأتربة المبللة فيتم تجميعها فى سيكلون أو وحدة تجميع بسيطة أخرى . وحيث إن هذه الوحدة مبسطة لدرجة تستحق التقدير فلذلك فهى تتطلب أعلى معدل دخول ، وينتج عن ذلك مشكلة تلوث للمياه والتى قد تكون مكلفة بعض الشئ عند حلها .



شكل (١١٣) وحدة تنقية لغازات فرن دست
يعمل بالهواء البارد بالنظام الخانق .

أفران الدست ذات الهواء الساخن Hot Blast Cupola

بالنسبة لأفران الدست ذات الهواء الساخن والتى يتم تركيبها فى وقتنا الحاضر ، يجب أن يتم تزويدها بوحدة تنقية كاملة لغبار الفرن ، لكى تعطى غازات نظيفة تحتوى على أتربة بنسبة لاتزيد عن ١١٥ مللى جرام / متر مكعب فى الظروف القياسية لدرجة الحرارة والضغط S.T.P (١٥°م ، ضغط بار واحد - ٦٠°ف ، ٣٠ بوصة زئبق) . ويجب أن تخضع الغازات الخارجة من الأفران لهذه الشروط . وهذه الحالة تتطلب استخدام الفلاتر المصنعة وأجهزة الترسيب الألكتروستاتيكية أو أجهزة الغسيل عالية الكفاءة . وفى حالة استخدام سخان هواء منفصل فإن تخطيط وحدة التنظيف سيكون هو نفس التخطيط لأفران الدست ذات الهواء البارد . أما فى حالة وحدة الاسترجاع Recuperative Unite فإن جميع الغازات سيتم سحبها من أسفل مستوى فتحة الشحن ، وإذا كان من الضرورى تنظيف الغازات قبل دخولها إلى المسترجع فإن فرصة اختيار وحدة التنظيف سوف تصبح محدودة الكفاءة فى بعض الوحدات التى تستخدم الطريقة الرطبة للتجميع Wet Collector أما المفتتات Disintegrators فقد أصبح استعمالها متزايداً بسبب أن كفاءتها لاتتأثر بأى تغيير فى تيار الغازات بسبب التغيير فى ظروف التشغيل ، بالإضافة إلى أنه مبسط فإنه قوى ويحتاج إلى صيانة قليلة . والشكل رقم (١١٤) يوضح رسماً توضيحياً للمفتت .



شكل (١١٤) وحدة تنقية غازات فرن دست ٣٠ طن / ساعة
يعمل بالهواء الساخن باستخدام مفتت .

الباب الرابع عشر
تحديد مواصفات فرن الدست
Specification of Cupola Plant

إن اقتصاديات عملية الصهر فى مسابك الحديد الزهر تتأثر بعدد كبير من العوامل المعقدة . ومن الصعب وضع أسلوب عام لعملية اختيار وحدة معينة للصهر ، وهذا يمكن عمله من خلال ظروف العمل الفنية الدقيقة وعمليات التقييم الاقتصادى إلى جانب دراسة المتطلبات التى تتعلق بكل مسبك على حدة . والعوامل الرئيسية التى يجب أن توضع فى الاعتبار عند تقييم وحدات الصهر هى على النحو التالى :

المتطلبات الأساسية Basic Requirements

١- نوعية المعدن Metal Grade

٢- الحدود القصوى والدنيا لكمية المعدن المطلوبة
Maximum & Minimum Metal Demand

٣- طريقة البزل (متواصلة - متقطعة)
Type of Demand-Intermittent or Continuous

٤- أحجام البواتق وطريقة استعمالها Ladle Sizes and Usage

٥- درجات حرارة كلاً من البزل والصب Tapping & Pouring Temperature

٦- زمن توافر المعدن المنصهر - وردية واحدة - ورديتان
Period Metal Required-Single Shift or Double Shift

اعتبارات أخرى منها :

١- مدى توافر الخامات وأسعارها Availability and Cast of Material

٢- معالجة المعدن Metal Treatments

٣- اعتبارات الجودة Quality Considerations

٤- الفضاء المتاح من الأرض Space Availability

٥- الوقود المتاح وسعره Fuel Availability and Cost

- كوك - Coke
- المصدر الكهربى وقائمة أسعار التيار - Electricity Supply and Tarif
- المازوت - Oil
- الغاز الطبيعى - Gas

٦- متطلبات تنقية غازات الفرن Clean Air Requirements

٧- متطلبات الصيانة Maintenance Requirements

تصميم فرن الدست Cupola Design

إذا تم تحديد فرن الدست ذات الهواء البارد على اعتبار أنه أفضل وحدة صهر مناسبة طبقاً للعوامل السابقة التى تم تحديدها فيكون من الممكن توصيف فرن الدست أو تقييم مواصفات المصنع بالطريقة التالية مستخدماً معطيات التصميم الموصى به المعطاة فى جدول رقم (٢٥) .

١ - حساب معدل الصهر Establishing Melting Rate

يجب أن يكون فرن الدست قادراً على الصهر بمعدل أكبر نسبياً من المعدل المتوسط المطلوب للمعدن المنصهر داخل المسبك ، وذلك لتعويض فترات التوقف لمروحة الهواء Off-Blast . وفترات التجليخ De-Slagging ولمقابلة الطلب المتغير للمسبك على المعدن المنصهر . ويجب أن يتم توصيف معدل الصهر على أن يكون أكبر من معدل الصهر المطلوب بنسبة ١٠٪ على الأقل .

٢ - تحديد نسبة فحم الكوك فى شحنة الفرن
Decide on Metal : Coke Ratio

يمكن القول بوجه عام أنه يجب زيادة كمية الكوك إذا كان مطلوباً زيادة درجة حرارة المعدن عند فتحة البزل ، وأيضاً عند زيادة نسبة خردة الصلب فى الشحنة ، وأيضاً فى حالة الحاجة إلى اكتساب كربون Carbon Pickup وفى حالة الشك فلابد من الأخذ بالنسبة

جدول (٢٥) البيانات التصميمية لأفران الدست .

١			٢	٣	٤	٥		٦	٧	٨	٩
معدل الصهر عند استخدام كوك بنسب مختلفة وظروف تشغيل مستقرة طن / ساعة			معدلات الهواء الموصى بها متر^٣/دقيقة عند ١٥°م وضغط ١٠١ كيلو باوند على وحدة المساحة	مساحة مقطع منطقة الصهر م^٢	قطر منطقة الصهر سم	قدرة مروحة الهواء الموصى بها		السعة التقريبية لخزنة المعدن كجم/سم أرتفاع	المساحة الإجمالية للودنات سم^٢	عدد الودنات	الوزن التقريبي للفرشة كجم / سم أرتفاع
نسبة الكوك : المعدن						الضغط كيلو باوند على وحدة المساحة	الحجم م^٣/دقيقة				
١٠:١	٨:١	٦:١									
١,٦	١,٣	١,١	١٨,٨	٠,١٦٤	٤٦	١٠,٠	٢٢,٧	٦,٠	٢٢٥ – ٤٢٠	٤	٠,٧
٢,٢	١,٩	١,٥	٢٥,٥	٠,٢٢٣	٥٣	١٠,٢	٣٠,٦	٨,٠	٣٢٥ – ٥٥٠	٤	١,٠
٢,٩	٢,٥	١,٩	٣٣,٤	٠,٢٩٢	٦١	١٠,٥	٤٠,٢	١٠,٥	٤٢٠ – ٧٤٠	٤	١,٣
٣,٧	٣,١	٢,٥	٤٢,٣	٠,٣٧٠	٦٩	١٠,٧	٥١,٠	١٣,٣	٥١٥ – ٩٣٥	٤	١,٧
٤,٥	٣,٩	٣,١	٥٢,١	٠,٤٥٦	٧٦	١١,٠	٦٢,٣	١٦,٣	٦٤٥ – ١١٣٠	٤	٢,٠
٥,٥	٤,٧	٣,٧	٦٣,٢	٠,٥٥٢	٨٤	١١,٢	٧٥,٩	١٩,٨	٧٧٥ – ١٣٩٠	٦	٢,٥
٦,٦	٥,٦	٤,٤	٧٥,٠	٠,٦٥٧	٩١	١١,٥	٩٠,٠	٢٣,٣	٩٣٥ – ١٦٤٥	٦	٢,٩
٧,٧	٦,٥	٥,٢	٨٨,١	٠,٧٧١	٩٩	١١,٧	١٠٦,٠	٢٧,٥	١١٠٠ – ١٩٣٥	٦	٣,٥
٩,٠	٧,٦	٦,١	١٠٢,٥	٠,٨٩٦	١٠٧	١٢,٠	١٢٣	٣١,٧	١٢٩٠ – ٢٢٢٥	٦	٤,٠
١٠,٣	٨,٧	٦,٩	١١٧,٢	١,٠٢٦	١١٤	١٢,٢	١٤١	٣٦,٧	١٤٥٠ – ٢٥٠٠	٨	٤,٦
١١,٧	١٠,٠	٧,٩	١٣٣,٧	١,١٦٨	١٢٢	١٢,٧	١٦٠	٤١,٧	١٦٨٠ – ٢٩٠٠	٨	٥,٢
١٣,٢	١١,٢	٨,٩	١٥٠,٠	١,٣١٨	١٣٠	١٣,٠	١٨٠	٤٦,٧	١٨٧٠ – ٣٢٩٠	٨	٥,٩
١٤,٨	١٢,٦	١٠,٠	١٦٨,٥	١,٤٧٨	١٣٧	١٣,٢	٢٠٢	٥٣,٣	٢١٠٠ – ٣٦٨٠	٨	٦,٦
١٦,٥	١٤,٠	١١,٢	١٨٨,٣	١,٦٤٦	١٤٥	١٣,٧	٢٢٦	٥٨,٣	٢٣٥٠ – ٤١٠٠	٨	٧,٤
١٨,٣	١٥,٦	١٢,٤	٢٠٨,٤	١,٨٢٤	١٥٢	١٤,٢	٢٥١	٦٥,٠	٢٦١٠ – ٤٥٥٠	٨	٨,٢
٢٢,١	١٨,٨	١٤,٩	٢٥٢,٠	٢,٢٠٦	١٦٨	١٤,٩	٣٠٣	٧٨,٣	٢٨٧٠ – ٥٠٣٠	١٠	١٠,٠
٢٦,٥	٢٢,٥	١٧,٩	٣٠١,٦	٢,٦٣٦	١٨٣	١٥,٧	٣٦٠	٩٣,٣	٣٧٤٠ – ٦٥٨٠	١٠	١١,٨
٣١,١	٢٦,٤	٢١,٠	٣٥٤,٠	٣,٠٨٣	١٩٨	١٧,٢	٤٢٥	١١٠	٤٣٩٠ – ٧٧٤٠	١٠	١٣,٥
٣٦,١	٣٠,٦	٢٤,٣	٤١٠,٦	٣,٥٧٤	٢١٣	١٨,٧	٤٩٣	١٢٨	٤٥١٠ – ٩٠٣٠	١٠	١٦,٠

الأكبر للكوك فى الشحنة عند تحديد المواصفات . والجدول رقم (٢٥) يحدد معدل الصهر فى العمود (١) عند النسبة المختارة للكوك فى الشحنة .

٣- الهواء الخالى من الملوثات . التخلص من مقذوفات الدخان والغبار والحصى Clean Air-Control of Smoke, Fume and Grit Emissions

بعد التعرف على معدل الصهر المطلوب ونسبة الكوك المستعملة فى الشحنة يمكن اتخاذ القرار المناسب فيما يتعلق بمعدات تنقية غازات الفرن من الملوثات والتى تخضع للقوانين المنظمة لعمليات تلوث الهواء .

٤- معدل تدفق الهواء Blowing Rate

العمود رقم (٢) فى جدول (٢٥) يوضح معدلات تدفق الهواء المطلوبة لزوم معدلات الصهر المختلفة وعند معدلات محددة للكوك فى الشحنة .

٥- معدات دفع الهواء Blowing Equipment

يوضح العمود رقم (٥) المواصفات الموصى بها والضرورية لمعدات دفع الهواء لتوفير معدلات الهواء المطلوبة . ويكون حجم الهواء أكبر من الحجم الموصى به لمعدلات الهواء بنسبة ٢٠٪ وهى ١١٤ متر^{٣} / متر^{٢} . دقيقة ويكون ضغط التصريف Discharge Pressure أكبر بنسبة ٥٠٪ من ضغط الهواء المتوقع فى قميص الهواء عندما تعمل فى ظروف هذا المعدل المحدد للهواء .

٦- أجهزة ضبط الهواء Blast Control Equipment

يجب أن يوضع فى الاعتبار توافر أجهزة ووسائل للتحكم فى كمية وضغط الهواء المنصرف .

٧- مساحة منطقة الصهر Melting-Zone Area

بعد التعرف على معدل تدفق الهواء يمكننا حساب منطقة الصهر ، كما هو موضح بالعمود (٣) ، واعتماداً على المعدل المحدد لذلك وهو ١١٤ متر^{٣} / متر^{٢} . دقيقة . ومن هنا يمكننا حساب وتحديد القطر الداخلى لفرن الدست ، كما هو موضح فى العمود رقم (٤) .

٨- قطر صاج الفرن الخارجى External Shell Diameter

بعد التعرف على القطر الداخلي للفرن والسمك الضرورى للبطانة الحرارية للفرن ، يمكننا تحديد القطر الخارجى لصاج الفرن shell ، ويكون سمك البطانة ٢٢,٥ سم كافياً للفرن الذى يعمل لفترة أقل من ٤ ساعات كل صهرة . أما الصهرات التى تصل إلى حوالى ٨ ساعات فإن سمك البطانة يجب أن يكون ٣٠ سم على الأقل (١٢ بوصة) ، وإذا كانت فترة الصهر من ٨ - ١٠ ساعات فإنه من الواجب تبريد صاج حجم الفرن بالمياه Water Cooling عند منطقة الصهر وذلك بهدف تخفيض معدلات استهلاك البطانة الحرارية .

٩- خزنة المعدن The Well

إن تصميم أبعاد خزنة المعدن يعتمد على نوع نظام البزل المقترح ، فإذا كان نظام البزل متقطعاً فيجب أن تتسع خزنة المعدن لحوالى وزنتين إلى أربع وزنات من شحنات الفرن المعدنية ، واعتماداً على طريقة تجميع الشحنة . فمثلاً الشحنات التى تحتوى على نسبة عالية من خردة الصلب يجب أن تتسع الخزنة لأربع شحنات على الأقل . أما بالنسبة لنظام البزل المتواصل (المستمر) والتى يتم فيه عملية خلط شحنات المعدن المنصهر عن طريق الخزان الخارجى Receiver فيجب أن يكون عمق الخزنة أقل بكثير من عمقه فى نظام البزل المتقطع ويعتمد على نظام البزل .

ومن المهم إدراك أن عمق خزنة المعدن له تأثير ملحوظ على درجة حرارة المعدن المنصهر فى أفران الصهر ذات البزل المستمر وأن كل انخفاض لعمق الخزنة بمقدار بوصة واحدة يقابله زيادة فى درجة حرارة المعدن عند فتحة البزل بمقدار (٥,١°م) ٤°ف . وهذا ينطبق على طريقة الصب المتقطع أيضاً فى أفران الدست . وعلى هذا فيجب ألا يكون عمق الخزنة (المسافة بين فتحة البزل إلى قاع الصف السفلى للودنات) أكبر من اللازم ، ويجب ألا يزيد بأى حال من الأحوال عن متر واحد .

ومن النقاط المهمة التى يجب ملاحظتها عند تصميم الفرن هو ضمان أن تكون فتحة البزل سهلة المنال وأيضاً فتحة الخبث . فمثلاً لابد أن يكون وضع فتحة الخبث مناسباً لطبيعة عمل العامل المكلف بها إذا كان يعمل مثلاً بيده اليمنى أو بيده اليسرى أو يعمل بيده اليسرى بدلاً من اليمنى ومن المهم أيضاً ألا ننسى باب إعداد الفرن وأن يكون ذات اتساع

مناسب ، ويجب أن يكون سهل المنال . والعمود رقم (٦) يعطى السعة التقريبية لخزنة المعدن عند احتساب عمق الخزنة Well Depth ، ويجب استخدام الارتفاع من فتحة البزل وحتى فتحة الجلخ .

١٠- ارتفاع لوح قاعدة (فرش) الفرن من مستوى أرضية المسبك
Height of Base Plate Above Ground Level

ويعتمد هذا الأرتفاع على عدة عوامل مثل حجم بوتقة الفرن ، سواء تم استخدام خزان rRceiver أم لا ، كما يعتمد على ارتفاع البوتقة المعلقة على القضيب المفرد Mono-rail . وعلى وجه العموم فإنه إذا كان ارتفاع بلاطة الفرن أقل من متر واحد فتصبح عملية سحب مخلفات الفرن عقب كل صهرة عملية صعبة خصوصاً إذا كان يتم سحبها عن طريق قادوس skip .

١١- باب القاع الساقط Drop Botton Doors

من الواجب أن يكون باب القاع الساقط ذات تصميم متين وأن يكون مزوداً بعدة دعامات وذلك لتلافى حدوث اعوجاج به . ومن المفروض عند تصميم الفرن التأكد من أن باب القاع لايعوق عملية إزالة المخلفات بعد إسقاط الباب . وبالنسبة للأفران الكبيرة والتى يكون باب القاع فيها ثقيل أو الأفران التى يكون ارتفاع باب القاع فيها يزيد عن متر إلى متر ونصف متر (٣ - ٤ قدم) فوق مستوى الأرضية . فلابد من تزويدها بتجهيزة ميكانيكية بالاستعانة بونش صغير أو باستخدام بستم يعمل بالهواء Air Cylinder .

١٢- قميص الهواء wind belt :

إن الغرض من وجود قميص الهواء أو قميصى الهواء إذا كان الهواء موزعاً Divid-ed Blast هو التوزيع المنتظم والمتساوى للهواء على كل ودنة من ودنات قميص الهواء ، وعادة مايكون القطر الخارجى لقميص الهواء أكبر من قطر غلاف الفرن الخارجى بمقدار ٦٠ - ١٠٠ سم (٢ - ٣ قدم) وذات عمق مناسب يتراوح من ٧٠ - ١٢٠ سم (من ٦// ٢ قدم إلى ٤ قدم) . وعند تصميم فرن الدست يجب أن يوضع فى الاعتبار احتمالية تشغيل فرن الدست فى المستقبل باستخدام مياه التبريد Water Cooling والتى تتطلب أن يكون قميص الهواء منفصلاً عن جسم الفرن .

١٣- ماسورة الهواء الرئيسية Blast Main

يجب أن تكون ماسورة الهواء الرئيسية كبيرة بدرجة كافية لتوصيل الهواء من المروحة إلى قميص الهواء مع أقل فقد فى الضغط . ويتراوح قطر الماسورة بين ٣٠ سم (١٢ بوصة) فى الأفران الصغيرة ليصل إلى ٦٠ سم (٢٤ بوصة) فى الأفران الكبيرة . ويجب أن توضع مروحة الهواء فى المكان المناسب والذى يجعل الماسورة الرئيسية تحتوى على أقل عدد من الانحناءات .

ولتنظيم عملية دفع الهواء يجب أن يوضع محبس على ماسورة الهواء فى الناحية القريبة من مروحة الهواء على أن تكون سهلة المنال للعامل الذى يقوم بخدمة الفرن .

١٤- الودنات Tuyeres

توضع الودنات فى معظم أفران الدست أسفل قميص الهواء . ويتم توصيل الهواء من قميص الهواء إلى الودنة عن طريق توصيلة منحنية (كوع) Elbow Connection ، ويتم تزويد الودنات بمحابس أو حواجز يتم تثبيتها فى كل ودنة على حدة وذلك لقطع الهواء عن أى ودنة بمفردها .أما بالنسبة لتجنب امتلاء الودنات بالجلخ أو المعدن فيجب خفض إحدى الودنات قليلاً عن الودنات الأخرى وأن تحتوى على سدادة قابلة للانصهار Fusible Plug موجودة عند قاع انحناء الودنة ، وفى الأفران التى تعمل بنظام البزل المتقطع يتم وضع الودنات أعلى فتحة الجلخ بمسافة حوالى ١٥ سم (٦ بوصة) .

أما المساحة الكلية للودنات فتتراوح بين $\frac{١}{٤}$ إلى $\frac{١}{٧}$ مساحة منطقة الصهر ، أما شكل الودنة سواء كانت مستديرة (دائرية) أو مستطيلة فيتم تحديدها بالخبرة الشخصية فى المسبك نفسه .

١٥- ارتفاع عتبة باب الشحن Height of Charging-Door Sill

يتم تعريف ارتفاع عتبة باب الشحن بأنها المسافة الرأسية التى تبدأ من الودنات وحتى باب الشحن . وهذه المسافة يجب أن تتناسب مع معدل الصهر ، فمثلاً عندما يكون معدل الصهر يقل عن ٥ طن / ساعة ، فإنه يجب أن يكون الأرتفاع ٥ أمتار (١٦ قدماً) ، أما بالنسبة لمعدل الصهر من ٥-٨ طن / ساعة فيكون الارتفاع ٥.٨ متر (١٨ قدماً) بينما

لمعدل صهر أكثر من ٨ طن / ساعة يكون الارتفاع ٦,٧ متر (٢٢ قدماً) .

١٦ - ارتفاع المدخنة Stock Height

يعد التعرف على ارتفاع فرن الدست أسفل باب الشحن ومعرفة سعة احتواء الفرن على شحنة ، وبعد معرفة كمية المقذوفات الخارجة من الفرن والتى تتناسب مع القوانين الموضوعة بشأن تلوث البيئة ، أو بعد تحديد معدات تنقية غازات الفرن من الغبار ؛ بعد هذا كله يمكن تحديد ارتفاع المدخنة فوق مستوى باب الشحن .

لمحات تصميمية أخرى Other Design Features

١- معدات الشحن Charging Equipment

أ- إن مقاسات قادوس الشحن يجب أن تكون مناسبة وكافية وتلائم نوعية خامات الشحنة ، وتشتمل على الكوك إذا تم شحنه مع المعدن . وعند تحديد هذه المقاسات فمن الأفضل حساب سعة القادوس باستخدام شحنة حقيقية . إن العديد من المسابك تنسى أن تقوم بمراجعة حجم القادوس عند عمل وحدة صهر جديدة . ووزن الشحنة عادة مايكون يمثل حوالى عشر معدل الصهر لكنها قد تكون أقل إذا استعمل خردة الصلب بنسبة عالية خصوصاً مع وجود خزنة صغيرة للمعدن .

ب- يجب ألا نقوم باختصار تصميم معدات الشحن عن طريق الاقتصاد فى سمك الصلب المستخدم .

ج- أن يحتوى التصميم على أجهزة أمان Safty Devices مثل المفتاح الكهربى الحدى Limit Switch مع استخدام Slack Wire Control ، مع وضع حاجز وقاية Guard حول النقرة Pit الخاصة بقادوس الشحن تحت مستوى الأرضية . أما مع أجهزة الشحن التى تستخدم منحدر رجل البنطلون Breeches Chute فيجب التأكد من أن الفرن الذى لايعمل (المتوقف عن العمل) لايمكن أن تصله خامات نتيجة عملية شحن الفرن الشغّال .

د- التأكد فى حالة الأفران التى تستخدم أوناش الرفع للشحن Skip Hoist

Charger من أن الحفرة الخاصة بالقادوس لايمكن أن تمتلئ بالخبث أو بمخلفات الفرن .

هـ – فى أفران الدست التى يتم شحنها ميكانيكياً يتم تزويدها بباب أضافى عند أو تحت مستوى عتبة باب الشحن بقليل مع عمل مصطبة مناسبة Platform للمساعدة فى قياس ارتفاع فرشة الكوك .

٢ – سمك خامات الصاج Material Thickness

يجب أن يوضع فى الاعتبار سمك الخامات المستخدمة فى تصنيع أجزاء الفرن ، كما هو موضح على النحو التالى :

غلاف الفرن ١٠ مم (٣/٨ً)		Mild Steel .
قميص الهواء ٦ مم (١/٤ً)		Mild Steel .
الماسورة الرئيسية تتحمل حتى ١٤ ضغط		Mild Steel .
هيكل القاعدة ٢٠ سم × ١٠ سم (٨ً × ٤ً)	RSJ	Mild Steel .
بلاطة الفرن ٤٠ مم (١ $\frac{١}{٢}$ً)		Mild Steel .
باب القاع ٢٠ مم (٣/٤ً)		Mild Steel .

الأعمدة ٢٠ × ١٠ سم (٨ً × ٤ً) RSJ مع الواقى .

الودنات والانحناء من الحديد الزهر المصبوب

٣ – ظروف العمل working Condition

إن العديد من أفران الدست ذات التصميم الجيد قد تعمل فى ظروف صعبة أو خطيرة ، وذلك بسبب عدم بذل المجهود الكافى فى التفكير فى ظروف العمل التى يجب أن تتوافر عند تشغيل فرن الدست وذلك فى مرحلة التخطيط والتصميم .

ومن الملامح التى قد تنسى أثناء التصميم النقاط التالية :

أول أكسيد الكربون Carbon Monoxide

قد تقع بعض الحوادث الخطيرة أو تحدث بعض الوفيات بسبب تعرض العمال لغاز أول أكسيد الكربون المتصاعد من فرن الدست فى أثناء تشغيله . ولابد أن يكون معروفاً أن غلاف الفرن Shell ليس حاجزاً لمرور الغازات التى تحتوى على نسبة مرتفعة من أول أكسيد الكربون والتى تخرج من الفرن تحت ضغط مرتفع نسبياً . وقد يتسرب غاز أول أكسيد الكربون من باب القاع ومن بلاطة الفرن ومن صندوق البزل ومن الوصلات المبرشمة ومن بين وصلات الفرن وأماكن الفتحات المختلفة . ويمكن الكشف عنه فى المنطقة المحيطة بالفرن . إن الغازات الموجودة عند فتحة الشحن عادةً ماتحتوى على أول أكسيد الكربون بنسبة ١٠-٢٠٪ ، وأى تسرب لغازات الفرن هذه من فتحة الشحن ينشأ عنه آثار خطيرة .

إن استخدام أجهزة تنقية لغازات الفرن بالطريقة المبللة البسيطة تقوم بغسل الغازات وتعود مياه الغسيل مرة أخرى إلى تنك الترسيب فى مستوى الأرضية . وتقوم المياه بسحب بعض الغازات المحملة بغاز أول أكسيد الكربون والتى تنفصل فى تنك الترسيب أو فى فتحة تصريف حبيبات الخبث .

والاحتياطات الواجب اتخاذها لتقليل خطورة أول أكسيد الكربون هى مايلى :

أ- أن يكون تصميم أجهزة تنقية الغازات على الوجه الصحيح .

ب- إشعال غازات المدخنة بقدر الإمكان لتحويل أكبر كمية من ك أ إلى ك أ٢ الأقل ضرراً .

ج - استعمال طرق الشحن الميكانيكية وذلك لتفادى وجود عمال على الصندرة .

د- ضرورة وجود تهوية جيدة حول الفرن خصوصاً عند مستوى أرضية الشحن .

هـ- استعمال أجهزة تنقية الغازات بالطريقة المبللة Wet Arrester ذات المياه الراجعة Water Return والتى تسمح باصطياد الغازات المحملة بأول أكسيد الكربون مع المياه ولتتخلص من ضررها إلى خارج المسبك .

التخلص من الخبث Slag Removal

يجب جمع الخبث فى قادوس أو بوتقة ذات تصميم مناسب . ولاتسمح بتجمع الخبث على أرضية المسبك . حيث إنه من الصعب نقل كميات كثيرة من قطع الخبث الصغيرة بينما يكون من الأسهل حمل العدد الأقل من الكميات الكبيرة من الخبث .

الصندرة Platform

ركّب الصندرة المناسبة عند مستوى باب شحن الفرن وعند مستوى جهاز التنقية . ولاتترك عمال الفرن يقومون بعملية تسليك النظارات (الودنات) بينما هم واقفون على صندوق ، ولاتسمح لهم بقياس مستوى فرشة الكوك وهم واقفون على سلم . تأكد أنه فى حالة الضرورة أنه بإمكان عمال الفرن مغادرة الصندرة بدون صعوبة وبسرعة . أضف زيادة بسيطة لتنكات الترسيب الخاصة بجهاز التنقية الرطبة .

صمامات (محابس) ضبط الهواء Air Control Valves

يتم تركيب هذه الصمامات بحيث يمكن لعمال الفرن غلقها فى حالة الخطر بأقصى سرعة وبدون تأخير .

مخلفات فرن الدست Cupola Drop

من المهم وجود ارتفاع مناسب أسفل فرن الدست لضمان سهولة إزالة المخلفات الناتجة عن عمليات الصهر مع الوضع فى الاعتبار أن تجمع هذه المخلفات فى قادوس مخصوص مصمم لهذا الغرض بحيث يشتمل على فتحات تصريف . ويجب إزالة هذه المخلفات من منطقة الفرن لنضمن عدم وجود أى معوقات . كما يجب أن يوضع فى الأعتبار وجود حواجز حول الفرن لتحمى المنطقة حوله من تطاير المخلفات فى أثنا سقوطها .

الأبواب السفلية (أبواب القاع) Bottom Doors

يجب التأكد من إحكام غلق هذه الأبواب ، مع استخدام طريقة مناسبة لشد الأبواب بعيداً بحيث لاتؤدى إلى حدوث أى خطورة على عمال الفرن وعمال المسبك .

الفهرس

	– عيوب السباكة الناتجة بسبب خلطة الطينة الحرارية والخوابير . – تسرب الهواء .	
الباب الثالث	**العوامل المؤثرة على أداء فرن الدست وطرق التحكم فيها وضبطها :** – معدل الصهر . – استخدام معادلة معدل الصهر . – درجة حرارة المعدن . – التركيب الكيميائى للمعدن . – ضبط وتوجيه عمل الفرن . – معدل تدفق الهواء . – وزن مكونات الشحنة .	٣٥
الباب الرابع	**ظهور أفران الدست ذات الهواء الموزع (ذات صفى الوينات)** – عملية التطور . – التطبيق الصناعى . – فرن الدست ذات الهواء الموزع الساخن .	٤٥
الباب الخامس	**تقنيات تشغيل أفران الدست الخاصة والمعدلة :** ١– أفران الدست القاعدية . ٢– استخدام المياه فى تبريد الأفران . ٣– استخدام الهواء الساخن فى تشغيل أفران الدست . ٤– استخدام الوقود الاضافى فى أفران الدست . * تشغيل أفران الدست باستخدام المازوت فى بكيرا . * محاولات استخدام غاز أفران الكوك كوقود مساعد . ٥– أفران الدست التى تعمل بدون استخدام كوك (كوكلس) .	٦١

	– اختبارات التفتيش : * أولاً اختبار التبريد المفاجئ . * ثانياً التحليل الحرارى . * جهاز تعيين نسبة السيليكون .	
الباب العاشر	**إزالة الكبريت من الزهر وإضافة مواد الكربنة :** – العوامل المؤثرة على كفاءة عمليات المعالجة : * أولاً العامل المستخدم . * ثانياً درجة حرارة المعدن . * ثالثاً تركيب المعدن . * رابعاً درجة الخلط . – طرق معالجة المعدن : * البوتقة ذات السدادة المسامية . * البوتقة الهزازة . * طرق معالجة أخرى .	١٥٧
الباب الحادى عشر	**فحم الكوك ومساعدات الصهر :** – كيف تتم صناعة كوك المسابك ؟ – أنواع الفحم الحجرى المخصص لانتاج كوك المسابك وموقع أفران التكويك . – اختبارات تحديد جودة فحم الكوك : * أخذ العينات . * أختبار تحديد الحجم . * اختبارات التحليل الكيميائى . * اختبارات المواصفات الطبيعية . * اختبار التهشيم .	١٧٥

	* اختبار مقاومة الاحتكاك . – توصيف فحم كوك المسابك : * نسبة الرماد . * المواد المتطايرة . * الكربون الثابت . * الكبريت . * الرطوبة . * الحجم . – مواصفات كوك المسابك . – مساعدات الصهر . – الفلورسبار (الحجر الفلورى – فلوريد الكالسيوم البللورى) .	
الباب الثانى عشر	**طرق بزل وتخزين المعدن المنصهر :** – مزايا نظام الصب المتواصل . – مساوئ نظام الصب المتواصل . – الطرق المختلفة للبزل المتواصل : * طريقة البزل والتجليخ الأمامى المتواصل . * الطريقة المستمرة للبزل الأمامى والتجليخ الخلفى أو الجانبى . * علمية البزل المستمر باستخدام سيفون من الطوب الحرارى . – خزانات المعدن : * المزايا . * العيوب . * تصميم الخزان . * الخزانات المسخنة .	١٩١

	١ . حساب معدل الصهر . ٢ . تحديد نسبة فحم الكوك فى شحنة الفرن . ٣ . الهواء الخالى من الملوثات :- التخلص من مقذوفات الدخان والغبار والحصى . ٤ . معدل تدفق الهواء . ٥ . معدات دفع الهواء . ٦ . أجهزة ضبط الهواء . ٧ . مساحة منطقة الصهر . ٨ . قطر صاج الفرن الخارجى . ٩ . خزنة المعدن . ١٠ . أرتفاع لوح قاعدة (فرش) الفرن من مستوى أرضية المسبك . ١١ . باب القاع الساقط . ١٢ . قميص الهواء . ١٣ . ماسورة الهواء الرئيسية . ١٤ . الودنات . ١٥ . ارتفاع عتبة باب الشحن . ١٦ . ارتفاع المدخنة . – لمحات تصميمية أخرى : ١ . معدات الشحن . ٢ . سمك خامات الصاج . – ظروف العمل : * أول أكسيد الكربون . * التخلص من الخبث . * الصندرة . * صمامات (محابس) ضبط الهواء . * مخلفات فرن الدست . * الأبواب السفلية (أبواب القاع) .	

رقم الإيداع : ٣٦٦٨/ ١٩٩٤م

I. S. B.N : 977-5526 -05-1

مطابع الوفاء - المنصورة
شارع الإمام محمد عبده المواجه لكلية الآداب
ت: ٣٤٢٧٢١/٣٥٦٢٢٠/٣٥٦٢٣٠
ص.ب: ٢٣٠ فاكس ٣٥٩٧٧٨

دار النشر للجامعات المصرية - مكتبة الوفاء

٤١ ش شريف ت : ٣٩٣١٢٣٤/ ٣٩٣٤٦٠٦ . فاكس ٣٩٢١٩٩٧